

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2005-012190

(43)Date of publication of application : 13.01.2005

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G01M 11/02

G02B 13/14

G02B 13/24

(21)Application number : 2004-149698

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 19.05.2004

(72)Inventor : MATSUYAMA TOMOYUKI
UJIE TOMOKO

(30)Priority

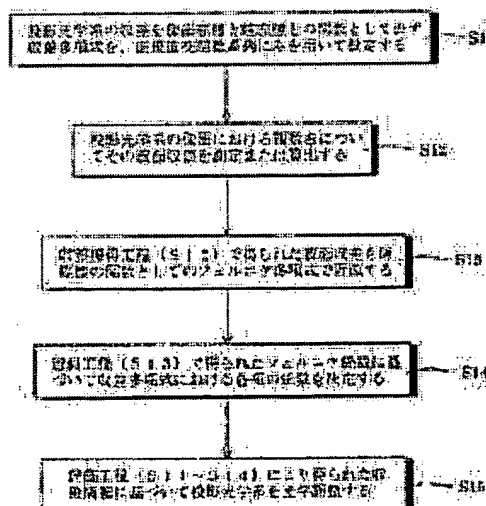
Priority number : 2003145652 Priority date : 23.05.2003 Priority country : JP

(54) ESTIMATION METHOD AND ADJUSTING METHOD OF IMAGING OPTICAL SYSTEM, EXPOSURE APPARATUS AND METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an estimation method of aberration in an imaging optical system by which the aberration can be estimated analytically by expressing the distribution of the aberration in the pupil and in an image surface at the same time.

SOLUTION: This estimation method of aberration in an imaging optical system using an aberration polynomial comprises processes of: (S11), setting an aberration polynomial by using only an orthonormal function series, wherein the aberration polynomial expresses aberration in the imaging optical system as functions of an image surface coordinate and a pupil coordinate of the imaging optical system; (S12), obtaining wavefront aberrations at a plurality of points on the imaging surface in the imaging optical system; (S13), approximating wavefront aberration obtained in the aberration obtaining process (S12) by a predetermined polynomial as a function of the pupil coordinate; and (S14), determining coefficients of respective terms in the aberration polynomial based on a coefficient of each term in the predetermined polynomial obtained in the approximating process.



* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]

In how to evaluate aberration of an image formation optical system using an aberration polynomial,

A setting-out process of setting up said aberration polynomial using only an orthonormal-functions series as a function of image surface coordinates of said image formation optical system, and pupil coordinates,

An aberration acquisition process of acquiring a wavefront aberration of said image formation optical system about two or more [in the image surface of said image formation optical system],

An approximation process of approximating said wavefront aberration acquired at said aberration acquisition process by a predetermined polynomial as a function of pupil coordinates,

A valuation method including a decision process which determines a coefficient of each item of said aberration polynomial based on a coefficient of each item in said predetermined polynomial obtained at said approximation process.

[Claim 2]

The valuation method according to claim 1, wherein said setting-out process includes a process of expressing said orthonormal-functions series by the Zernike function in pupil coordinates, and the Zernike function in image surface coordinates.

[Claim 3]

The valuation method according to claim 1 or 2, wherein said predetermined polynomial contains the Zernike polynomial.

[Claim 4]

A valuation method given in any 1 clause of Claims 1-3, wherein said aberration polynomial is set up so that a symmetry-of-revolution aberration component about an optic axis of said image formation optical system, an eccentric aberration component, an ASU (toric) aberration component, and at least one aberration component in a Japanese honewort aberration component may be included.

[Claim 5]

The valuation method according to claim 4, wherein said aberration polynomial is set up so that at least one aberration component in said eccentric aberration component, said ASU (toric) aberration component, and a Japanese honewort aberration component may be included.

[Claim 6]

The valuation method according to claim 4 or 5, wherein said symmetry-of-revolution aberration component is expressed as a power series of an invariable to rotation in said image surface coordinates and said pupil coordinates.

[Claim 7]

The valuation method according to claim 6, wherein said eccentric aberration component is expressed as a product of a primary dependence ingredient of coordinates in said image surface coordinates and said pupil coordinates, and a power series of an invariable to said rotation.

[Claim 8]

The valuation method comprising according to claim 6:

An ingredient which said ASU (toric) aberration component is a secondary dependence ingredient of coordinates in said image surface coordinates and said pupil coordinates, and is a periodic function of 180 degrees to rotation of coordinates.

A product with a power series of an invariable to said rotation.

[Claim 9]

The valuation method comprising according to claim 6:

An ingredient which said Japanese honewort aberration component is the Miyoshi dependence ingredient of coordinates in said image surface coordinates and said pupil coordinates, and is a periodic function of 120 degrees to rotation of coordinates.

A product with a power series of an invariable to said rotation.

[Claim 10]

the image surface of a coefficient of each item in said predetermined polynomial from which said decision process was acquired at said approximation process — internal division — a valuation method of a description given in any 1 clause of Claims 1-9 including the 2nd approximation process that approximates cloth by a predetermined polynomial as a function of said image surface coordinates.

[Claim 11]

A valuation method given in any 1 clause of Claims 1-10, wherein said aberration acquisition process includes a process of measuring a wavefront aberration of said image formation optical system.

[Claim 12]

A valuation method given in any 1 clause of Claims 1-11, wherein said aberration acquisition process includes a process of computing a wavefront aberration of said image formation optical system with ray tracing.

[Claim 13]

In how to evaluate aberration of said image formation optical system using an aberration polynomial based on an acquired wavefront aberration about two or more [in the image surface of an image formation optical system],

A setting-out process of setting up said aberration polynomial using only an orthonormal-functions series as a function of image surface coordinates of said image formation optical system, and pupil coordinates,

An approximation process of approximating said acquired wavefront aberration by a predetermined polynomial as a function of pupil coordinates,

A valuation method including a decision process which determines a coefficient of each item of said aberration polynomial based on a coefficient of each item in said predetermined polynomial obtained at said approximation process.

[Claim 14]

An adjustment method carrying out optical adjustment of said image formation optical system to any 1 clause of Claims 1-13 based on aberration information on said image formation optical system acquired by a valuation method of a description.

[Claim 15]

An exposure device having an image formation optical system by which optical adjustment was carried out with the adjustment method according to claim 14 as a projection optical system for carrying out projection exposure of the pattern of a mask to a photosensitive substrate.

[Claim 16]

An exposure method carrying out projection exposure of the image of a pattern formed in a mask on a photosensitive substrate using an image formation optical system by which optical adjustment was carried out with the adjustment method according to claim 14.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[Field of the Invention]

[0001]

Especially this invention relates to aberration evaluation of the projection optical system carried in an exposure device about the valuation method of an image formation optical system, the adjustment method of an image formation optical system, an exposure device, and an exposure method.

[Background of the Invention]

[0002]

For example, in the lithography process which forms a circuit pattern in manufacture of LSI, the exposure device with which the projection optical system for transferring the pattern of a mask to the resist on a wafer was incorporated is used. In the present lithography, reducing the aberration of a projection optical system to a limit is called for with increase of the degree of location of LSI, and reduction of k1 factor (line width = $k_1 \lambda / NA$; λ is an exposure wavelength, and NA is a numerical aperture of a projection optical system).

[0003]

Therefore, in the optical adjustment process of a projection optical system, the measurement and analysis of the wavefront aberration using various kinds of wavefront aberration measuring instruments are conducted in recent years. In the analysis process of a wavefront aberration, the measured wavefront aberration is approximated using the Zernike (Fringe Zernike) polynomial as a function of pupil coordinates in many cases (fitting). Here, the Zernike polynomial is a function expressing the distribution in the pupil of a wavefront aberration.

[Description of the Invention]

[Problem to be solved by the invention]

[0004]

As mentioned above, the Zernike polynomial is a function suitable for expressing a wavefront aberration in a pupil. However, based on a coefficient of each item of the Zernike polynomial, optimizing calculation using a computer needs to determine an optical adjustment method and the amount of optical adjustments by trial and error in this case, and it is necessary to perform optical adjustment.

[0005]

A function drawn as a function expressing distribution within the image surface of a wavefront aberration on the other hand by aberration theory on condition of a symmetry-of-revolution optical system or a function drawn by aberration theory of an optical system included an eccentric error up to the 3rd order (ray aberration) is known. However, the conventional function expressing distribution within the image surface of a wavefront aberration is insufficient for expressing an aberration state before a numerical aperture and optical adjustment of a very large projection optical system of the field, and under optical adjustment.

[0006]

This invention is made in view of above-mentioned SUBJECT, and is a thing.

the purpose -- a pupil of aberration of ** -- internal division -- cloth and the image surface -- internal division -- it is providing a valuation method by which aberration of an image formation optical system can be evaluated analytically by expressing cloth simultaneously.

It aims at providing an adjustment method which can carry out optical adjustment of the image formation optical system good based on analytical evaluation of aberration acquired by a valuation method of this invention. It aims at providing an exposure device and an exposure method which can perform good projection exposure using an image formation optical system by which optical adjustment was carried out good with an adjustment method of this invention.

[Means for solving problem]

[0007]

In the way use an aberration polynomial and the 1st form of this invention estimates the aberration of an image formation optical system in order to solve said SUBJECT,

The setting-out process of setting up said aberration polynomial using only an orthonormal-functions series as a function of the image surface coordinates of said image formation optical system, and pupil coordinates,

The aberration acquisition process of acquiring the wavefront aberration of said image formation optical system about two or more [in the image surface of said image formation optical system],

The approximation process of approximating said wavefront aberration acquired at said aberration acquisition process by the predetermined polynomial as a function of pupil coordinates,

A valuation method including the decision process which determines the coefficient of each item of said aberration polynomial based on the coefficient of each item in said predetermined polynomial obtained at said approximation process is provided.

[0008]

According to the desirable mode of the 1st form, said setting-out process includes the process of expressing said orthonormal-

functions series by the Zernike function in pupil coordinates, and the Zernike function in image surface coordinates. As for said predetermined polynomial, it is preferred that the Zernike polynomial is included. As for said aberration polynomial, it is preferred to be set up so that the symmetry-of-revolution aberration component about the optic axis of said image formation optical system, an eccentric aberration component, an ASU (toric (Toric)) aberration component, and at least one aberration component in a Japanese honewort aberration component may be included. In this case, as for said aberration polynomial, it is preferred to be set up so that at least one aberration component in said eccentric aberration component, said ASU (toric) aberration component, and a Japanese honewort aberration component may be included.

[0009]

According to the desirable mode of the 1st form, said symmetry-of-revolution aberration component is expressed as a power series of the invariable to the rotation in said image surface coordinates and said pupil coordinates. In this case, as for said eccentric aberration component, it is preferred to be expressed as a product of the primary dependence ingredient of the coordinates in said image surface coordinates and said pupil coordinates and the power series of the invariable to said rotation. Or said ASU (toric) aberration component is a secondary dependence ingredient of the coordinates in said image surface coordinates and said pupil coordinates, and it is preferred that the product of the ingredient which is a periodic function of 180 degrees, and the power series of the invariable to said rotation is included to rotation of coordinates. Or said Japanese honewort aberration component is the Miyoshi dependence ingredient of the coordinates in said image surface coordinates and said pupil coordinates, and it is preferred that the product of the ingredient which is a periodic function of 120 degrees, and the power series of the invariable to said rotation is included to rotation of coordinates.

[0010]

the image surface of the coefficient of each item in said predetermined polynomial from which said decision process was acquired at said approximation process according to the desirable mode of the 1st form — internal division — the 2nd approximation process that approximates cloth by the predetermined polynomial as a function of said image surface coordinates is included. As for said aberration acquisition process, it is preferred to include the process of measuring the wavefront aberration of said image formation optical system. As for said aberration acquisition process, it is preferred to include the process of computing the wavefront aberration of said image formation optical system with ray tracing.

[0011]

In the way the 2nd form of this invention estimates the aberration of said image formation optical system using an aberration polynomial based on the wavefront aberration acquired about two or more [in the image surface of an image formation optical system],

The setting-out process of setting up said aberration polynomial using only an orthonormal-functions series as a function of the image surface coordinates of said image formation optical system, and pupil coordinates,

The approximation process of approximating said acquired wavefront aberration by the predetermined polynomial as a function of pupil coordinates,

A valuation method including the decision process which determines the coefficient of each item of said aberration polynomial based on the coefficient of each item in said predetermined polynomial obtained at said approximation process is provided.

[0012]

According to the desirable mode of the 2nd form, said setting-out process includes the process of expressing said orthonormal-functions series by the Zernike function in pupil coordinates, and the Zernike function in image surface coordinates. As for said aberration polynomial, it is preferred to be set up so that at least one aberration component in an eccentric aberration component, an ASU (toric) aberration component, and a Japanese honewort aberration component may be included. the image surface of the coefficient of each item in said predetermined polynomial from which said decision process was acquired at said approximation process — internal division — it is preferred to include the 2nd approximation process that approximates cloth by the predetermined polynomial as a function of said image surface coordinates.

[0013]

In the 3rd form of this invention, the adjustment method carrying out optical adjustment of said image formation optical system based on the aberration information on said image formation optical system acquired by the valuation method of the 1st form or the 2nd form is provided.

[0014]

In the 4th form of this invention, the exposure device having the image formation optical system by which optical adjustment was carried out with the adjustment method of the 3rd form as a projection optical system for carrying out projection exposure of the pattern of a mask to a photosensitive substrate is provided.

[0015]

In the 5th form of this invention, the exposure method carrying out projection exposure of the image of the pattern formed in the mask on a photosensitive substrate using the image formation optical system by which optical adjustment was carried out with the adjustment method of the 3rd form is provided. In the 6th form of this invention, an image formation optical system, wherein optical adjustment is carried out by the adjustment method of the 3rd form is provided.

[0016]

In the 7th form of this invention, a recording medium, wherein the program which performs the valuation method of the 1st form or the 2nd form is recorded is provided. In the 8th form of this invention, the subcarrier which can receive by computer carrying the signal including the program which performs the valuation method of the 1st form or the 2nd form is provided.

[Effect of the Invention]

[0017]

the valuation method of this invention — the pupil of the aberration of an image formation optical system — internal division — cloth and the image surface — internal division — the aberration of an image formation optical system can be analytically evaluated by expressing cloth simultaneously. Therefore, based on analytical evaluation of the aberration acquired by the valuation method of this invention, optical adjustment of the image formation optical system can be carried out good. Using the image formation optical system by which optical adjustment was carried out good with the adjustment method of this invention, good projection exposure can be

performed and a good micro device can be manufactured by extension.

[Best Mode of Carrying Out the Invention]

[0018]

The embodiment of this invention is described based on an accompanying drawing.

Drawing 1 is a figure showing roughly the composition of the exposure device provided with the projection optical system which applies the valuation method of the image formation optical system concerning the embodiment of this invention. In drawing 1, the X-axis is set up at right angles to the space of drawing 1 in parallel with the optic axis AX of projection optical system PL, respectively in [in the Z-axis // in a field vertical to the optic axis AX / in parallel with the space of drawing 1] a field vertical to the optic axis AX for a Y-axis.

[0019]

The exposure device shown in drawing 1 is provided with the F₂ laser light source (wavelength of 157 nm) as light source LS for supplying the illumination light, for example. The light ejected from light source LS illuminates the reticle (mask) R in which the predetermined pattern was formed via illumination-light study system IL. The optical path between light source LS and illumination-light study system IL is sealed by the casing (un-illustrating), and most in illumination-light study system IL from light source LS the space to the optical member by the side of a reticle, it is replaced by the inactive gas which is gases with a low absorptivity of exposing light, such as gaseous helium and nitrogen, or is held mostly at the vacua.

[0020]

The reticle R passes reticle holder RH and is held in parallel with an XY plane on reticle stage RS. The pattern space of the rectangular shape which the pattern which should be transferred is formed in the reticle R, has a long side in accordance with the direction of X among the whole pattern space, and has a shorter side in accordance with the direction of Y is illuminated. It is constituted so that it may be measured by operation of the drive system to which reticle stage RS abbreviated the graphic display by interferometer RIF for which it is movable in two dimensions along a reticle side (namely, XY plane), and the position coordinate used reticle moving mirror RM and position control may be carried out.

[0021]

The light from the pattern formed in the reticle R forms a reticle pattern image via projection optical system PL on the wafer W which is a photosensitive substrate. The wafer W passes wafer table (wafer holder) WT, and is held in parallel with an XY plane on wafer stage WS. And on the wafer W, a pattern image is formed in the exposure region of the rectangular shape which has a long side in accordance with the direction of X, and has a shorter side in accordance with the direction of Y so that it may correspond to the illuminated field of the rectangular shape on the reticle R optically. It is constituted so that it may be measured by the interferometer WIF for which it is movable in two dimensions and the position coordinate used the wafer moving mirror WM along the wafer surface (namely, XY plane) by operation of the drive system to which wafer stage WS abbreviated the graphic display and position control may be carried out.

[0022]

It comprises an exposure device of a graphic display so that the inside of projection optical system PL may maintain an airtight condition between the optical member most arranged at the reticle side among the optical members which constitute projection optical system PL, and the optical member arranged most at the wafer side. The gas inside projection optical system PL is replaced by inactive gas, such as gaseous helium and nitrogen, or is held mostly at the vacua.

[0023]

Although the reticle R, reticle stage RS, etc. are arranged at the narrow optical path between illumination-light study system IL and projection optical system PL, The inside of the casing (un-illustrating) which carries out seal envelopment of the reticle R, the reticle stage RS, etc. is filled up with inactive gas, such as nitrogen and gaseous helium, or it is held mostly at the vacua.

[0024]

Although the wafer W, wafer stage WS, etc. are arranged at the narrow optical path between projection optical system PL and the wafer W, The inside of the casing (un-illustrating) which carries out seal envelopment of the wafer W, wafer stage WS, etc. is filled up with inactive gas, such as nitrogen and gaseous helium, or it is held mostly at the vacua. Thus, the whole optical path from light source LS to the wafer W is covered, and the atmosphere by which exposing light is hardly absorbed is formed.

[0025]

As mentioned above, the illuminated field on the reticle R specified by projection optical system PL and the exposure region (namely, effective exposure region) on the wafer W are rectangular shape which has a shorter side in accordance with the direction of Y. Therefore, performing position control of the reticle R and the wafer W using a drive system, an interferometer (RIF, WIF), etc. In accordance with the short side direction of Y, i.e., direction, of the exposure region of rectangular shape, and an illuminated field, reticle stage RS and wafer stage WS as a result, by moving the reticle R and the wafer W synchronous (scan), Scanning exposure of the reticle pattern is carried out to the field which has width equal to the long side of an exposure region on the wafer W, and has the length according to the scanning amount (movement magnitude) of the wafer W.

[0026]

According to this embodiment, although the valuation method and adjustment method of this invention are applied to projection optical system PL as an image formation optical system, in advance of this explanation, the aberration polynomial (aberration function) which generally expresses the aberration of projection optical system PL as a function of image surface coordinates and pupil coordinates is newly derived (setting out). Drawing 2 is a figure explaining the image surface coordinates and pupil coordinates of projection optical system PL. If its attention is paid to the beam of light which passes along image surface rectangular coordinates (y, z) and pupil rectangular coordinates (xi, eta) in drawing 2, the wavefront aberration W of this beam of light should be developed by the power series of y, z, xi, and eta.

[0027]

Then, the symmetry-of-revolution aberration component W_r about the optic axis AX of projection optical system PL is first considered among each ingredient of the wavefront aberration W. The invariable to rotation of coordinates is expressed with following formula (1) - (3). And the symmetry-of-revolution aberration component W_r is expressed by the power series of the invariable of a

formula (1), the invariable of a formula (2), and the invariable of a formula (3). If it puts in another way, the symmetry-of-revolution aberration component W_r will be expressed by [the power series of (1) to (3)].

[0028]

$$y^2+z^2 \quad (1)$$

$$xi^2+eta^2 \quad (2)$$

$$Y-xi+z-eta \quad (3)$$

[0029]

Next, the eccentric aberration component W_s about the optic axis AX of projection optical system PL is considered among each ingredient of the wavefront aberration W. The coordinates (image surface coordinates or pupil coordinates) dependency of the aberration component newly generated in eccentricity is primary. Therefore, it is expressed as a product with the power series of the invariable to the rotation expressed with any one following ingredient in the primary coordinates dependence ingredient expressed with - (7) and formula (4) type (1) - (3), the aberration W_s , i.e., the eccentric aberration component, having contained the eccentric ingredient. putting in another way -- if -- eccentricity -- an aberration component -- W_s -- {-- (one --) -- from -- (three --) -- a power series --} -- x -- {-- (four --) -- from -- (seven --) -- some -- one -- a ** --} -- expressing -- having .

[0030]

$$y \quad (4)$$

$$z \quad (5)$$

$$xi \quad (6)$$

$$eta \quad (7)$$

[0031]

Next, the ASU (toric) aberration component W_a is considered among each ingredient of the wavefront aberration W. The coordinates (image surface coordinates or pupil coordinates) dependency of the aberration component newly generated of an ASU (toric (Toric)) ingredient is only the 2nd order, and is a periodic function of 180 degrees to rotation of coordinates. for this reason, the aberration W_a , i.e., the ASU (toric) aberration component, having contained the ASU (toric) ingredient. It is expressed as a product of the ingredient which is a secondary dependence ingredient of the coordinates expressed with - (13), and is a periodic function of 180 degrees to rotation of coordinates, and the power series of the invariable to the rotation expressed with following formula (8) type (1) - (3). putting in another way -- if -- ASU (toric) -- an aberration component -- W_a -- {-- (one --) -- from -- (three --) -- a power series --} -- x -- {-- (eight --) -- from -- (13 --) -- some -- one -- a ** --} -- expressing -- having .

[0032]

$$y^2-z^2 \quad (8)$$

$$2 y-z \quad (9)$$

$$xi^2-eta^2 \quad (10)$$

$$2 xi-eta \quad (11)$$

$$Y-xi-z-eta \quad (12)$$

$$Y-eta+z-xi \quad (13)$$

[0033]

Finally, the Japanese honewort aberration component W_t is considered among each ingredient of the wavefront aberration W. The coordinates (image surface coordinates or pupil coordinates) dependency of the aberration component newly generated of a Japanese honewort (Trefoil) ingredient is only the 3rd order, and is a periodic function of 120 degrees to rotation of coordinates. For this reason, it is expressed as a product of the ingredient which is the Miyoshi dependence ingredient of the coordinates expressed with - (21), and is a periodic function of 120 degrees to rotation of coordinates, and the power series of the invariable to the rotation expressed with following formula (14) type (1) - (3), the aberration W_t , i.e., the Japanese honewort aberration component, having contained the Japanese honewort ingredient. putting in another way -- if -- Japanese honewort -- an aberration component -- W_t -- {-- (one --) -- from -- (three --) -- a power series --} -- x -- {-- (14 --) -- from -- (21 --) -- some -- one -- a ** --} -- expressing -- having .

[0034]

$$y (y^2-3z^2) \quad (14)$$

$$z (3y^2-z^2) \quad (15)$$

$$xi (xi^2-3eta^2) \quad (16)$$

$$eta (3xi^2-eta^2) \quad (17)$$

$$(y^2-z^2) xi-2yzeta \quad (18)$$

$$2yzxi+(y^2-z^2) eta \quad (19)$$

$$y(xi^2-eta^2)-2zxeta \quad (20)$$

$$z(xi^2-eta^2)+2yxieta \quad (21)$$

[0035]

in this way -- the symmetry of revolution -- an aberration component -- W_r -- eccentricity -- an aberration component -- W_s -- ASU (toric) -- an aberration component -- W_a -- Japanese honewort -- an aberration component -- W_t -- having contained -- a wavefront aberration -- W -- {-- (one --) -- from -- (three --) -- a power series --} -- or -- {-- (one --) -- from -- (three --) -- a power series --} -- x -- {-- (four --) -- from -- (21 --) -- some -- one -- a ** --} -- it can express . On the other hand, reference of drawing 2 will form the relation shown in following formula (a) - (d) between image surface rectangular coordinates (y, z) and pupil rectangular coordinates (xi, eta), image surface polar coordinates (h, alpha), and pupil polar coordinates (rho, theta). Here, h and rho are standardization half **, and alpha and theta are the radius vector angles of polar coordinates.

[0036]

$$y=h\cos\alpha \quad (a)$$

$$z=h\sin\alpha \quad (b)$$

Xi=rhocostheta (c)
 Eta=rhosintheta (d)
 [0037]

Therefore, based on the relation shown in formula (a) - (d), above-mentioned formula (1) - (21) can be transformed into following formula (A) - (U), respectively.

[0038]

y^2+z^2 (1) is h^2 (A).
 xi^2+eta^2 (2) is ρ^2 (B).
 $Y-xi+z-eta$ (3) is $\rho h \cos(\theta-\alpha)$ (C).
 y (4) is $h \cos \alpha$ (D).
 z (5) is $h \sin \alpha$ (E).
 xi (6) is $\rho \cos \theta$ (F).
 eta (7) is $\rho \sin \theta$ (G).
 y^2-z^2 (8) is $h^2 \cos 2\alpha$ (H).
 $2y-z$ (9) is $h^2 \sin 2\alpha$ (I).
 xi^2-eta^2 (10) is $\rho^2 \cos 2\theta$ (J).
 $2xi-eta$ (11) is $\rho^2 \sin 2\theta$ (K).
 $Y-xi-z-eta$ (12) is $h \rho \cos(\theta+\alpha)$ (L).
 $Y-eta+z-xi$ (13) is $h \rho \sin(\theta+\alpha)$ (M).
 $y(y^2-3z^2)$ (14) is $h^3 \cos 3\alpha$ (N).
 $z(3y^2-z^2)$ (15) is $h^3 \sin 3\alpha$ (O).
 $xi(xi^2-3eta^2)$ (16) is $\rho^3 \cos 3\theta$ (P).
 $eta(3xi^2-eta^2)$ (17) is $\rho^3 \sin 3\theta$ (Q).
 $(y^2-z^2)xi-2yzeta$ (18) is $h^2 \rho \cos(\theta+2\alpha)$ (R).
 $2yzxi+(y^2-z^2)eta$ (19) is $h^2 \rho \sin(\theta+2\alpha)$ (S).
 $y(xi^2-eta^2)-2xizeta$ (20) is $h \rho^2 \cos(2\theta+\alpha)$ (T).
 $z(xi^2-eta^2)+2yxieta$ (21) is $h \rho^2 \sin(2\theta+\alpha)$ (U).

[0039]

Therefore, the wavefront aberration W having contained the symmetry-of-revolution aberration component W_r , the eccentric aberration component W_s , the ASU (toric) aberration component W_a , and the Japanese honewort aberration component W_t is expressed with the following aberration polynomial (e).

[0040]

$W = \sum (M_i F_{Mi})$
 It corrects,
 $F_{Mi} = (A_j^i - B_j^i - C_j^i) \times \{ (D_{k1} - E_{k2} - F_{k3} - G_{k4})$
 $\times (H_{k5} - J_{k6} - K_{k7} - L_{k8} - M_{k10})$
 $\times (N_{k11} - O_{k12} - P_{k13} - Q_{k14} - R_{k15})$
 $- S_{k16} - T_{k17} - U_{k18} \}$ (e)

[0041]

sigma is the sigma about positive integer i (i= 1, 2 and 3, ...) here, and M_i and F_{Mi} are the coefficients and functions of each item in the aberration polynomial sigma ($M_i - F_{Mi}$). $j1-j3$ are nonnegative integers (0, 1, 2, ...). $k1-k18$ are 0 or 1, and fill $\text{sigmak}_i \leq 1$. if it puts in another way, or all will be 0 $k1-k18$ — being certain — it is — yes, only a gap or one are 1 and others are 0. When all of $k1-k18$ are 0, specifically, the clause concerned will express the symmetry-of-revolution aberration component W_r . On the other hand, when only any one of $k1$ —the $k18$ is 1, the clause concerned will express the eccentric aberration component W_s , the ASU (toric) aberration component W_a , or the Japanese honewort aberration component W_t .

[0042]

The combination (in each table, a blank is 0) of the degree of the value of i corresponding to the aberration function F_{Mi} of each item in the aberration polynomial sigma ($M_i - F_{Mi}$), omega dependency, an aberration degree, $j1-j3$, and $k1-k18$ is shown in the next table (1) and (2). Here, the combination of the degree of $j1-j3$, and $k1-k18$ is prescribed that the aberration function F_{Mi} of each item other than absolute term F_{M1} contains rho at least. What 360-degree rotational dependence (1-time rotational dependence) is in omega dependency in being that there is no rotational dependence in the case of $\omega = 0$, and $\omega = 1$, In being that there is 180-degree rotational dependence (2 times rotational dependence) in the case of $\omega = 2$, and $\omega = 3$, it shows, respectively that there is 120-degree rotational dependence (3 times rotational dependence).

[0043]

If any one of $j1$ —the $j3$ is 1, only an aberration degree's 2 will increase, if any one of $k1$ —the $k4$ is 1, only an aberration degree's 1 will increase, if any one of $k5$ —the $k10$ is 1, only an aberration degree's 2 will increase, and if any one of $k11$ —the $k18$ is 1, only an aberration degree's 3 will increase. The display of the aberration function F_{Mi} after the 47th clause is omitted in Table (1) and (2).

[0044]

A table (1)
 [Table 1]

i	ω 依存性	収差 次数	j ₁	j ₂	j ₃	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆	k ₇	k ₈	k ₉	k ₁₀	k ₁₁	k ₁₂	k ₁₃	k ₁₄	k ₁₅	k ₁₆	k ₁₇	k ₁₈
1	0	0																					
2	0	2		1																			
3	0	2			1																		
4	0	4	1	1																			
5	0	4	1		1																		
6	0	4		2																			
7	0	4		1	1																		
8	0	4			2																		
9	1	1						1															
10	1	1							1														
11	1	3	1					1															
12	1	3	1						1														
13	1	3		1		1																	
14	1	3		1			1																
15	1	3		1				1															
16	1	3		1					1														
17	1	3			1	1																	
18	1	3			1		1																
19	1	3			1			1															
20	1	3			1				1														
21	2	2										1											
22	2	2											1										
23	2	2												1									
24	2	2													1								
25	2	4	1									1											
26	2	4	1										1										
27	2	4	1											1									
28	2	4	1												1								
29	2	4		1						1													
30	2	4		1							1												
31	2	4		1								1											
32	2	4		1									1										
33	2	4		1										1									
34	2	4		1											1								

[0045]

A table (2)

[Table 2]

i	ω 依存性	収差 次数	j_1	j_2	j_3	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}	k_{16}	k_{17}	k_{18}
37	2	4			1							1											
38	2	4			1								1										
39	2	4			1									1									
40	2	4			1										1								
41	3	3																1					
42	3	3																	1				
43	3	3																		1			
44	3	3																			1		
45	3	3																				1	
46	3	3																					1

[0046]

Next, Table (1) and (2) is followed, and the aberration function FMi of each item in the aberration polynomial sigma (Mi-FMi) is expressed by image surface rectangular coordinates (z, y) and pupil polar coordinates (rho, theta), and is shown in the following tables (3). in the aberration classification of a table (3) — Focus — a focus — Dist — distortion — Toric — toric one — Coma shows a top, Trefoil shows Japanese honewort, and ASU shows ASU (toric) aberration, respectively. In the table (3), the degree expresses the aberration degree. In the aberration function FMi of a table (3), “+ ...” expresses the portion which can be expressed with the aberration function of existing appearance. In the table (3), the display of the aberration function FMi after the 47th clause is omitted.

[0047]

A table (3)

[Table 3]

i	収差分類	ω 依存性	次数	収差関数
1	定数項	0	0	1
2	Focus	0	2	ρ^2
3	倍率	0	2	$y \rho \cos \theta + z \rho \sin \theta$
4	像面湾曲22	0	4	$(y^2+z^2) \rho^2$
5	Dist31	0	4	$(y^2+z^2)y \rho \cos \theta + (y^2+z^2)z \rho \sin \theta$
6	球面収差04	0	4	ρ^4
7	コマ収差13	0	4	$y \rho^3 \cos \theta + z \rho^3 \sin \theta$
8	アス22	0	4	$(1/2)(y^2-z^2) \rho^2 \cos 2 \theta + yz \rho^2 \sin 2 \theta + \dots$
9	像シフト(0)	1	1	$\rho \cos \theta$
10	像シフト(90)	1	1	$\rho \sin \theta$
11	偏芯Dist21-1(0)	1	3	$(y^2+z^2) \rho \cos \theta$
12	偏芯Dist21-1(90)	1	3	$(y^2+z^2) \rho \sin \theta$
13	像面チルト12(0)	1	3	$y \rho^2$
14	像面チルト12(90)	1	3	$z \rho^2$
15	偏芯コマ03(0)	1	3	$\rho^3 \cos \theta$
16	偏芯コマ03(90)	1	3	$\rho^3 \sin \theta$
17	偏芯Dist21-2(0)	1	3	$y^2 \rho \cos \theta + yz \rho \sin \theta$
18	偏芯Dist21-2(90)	1	3	$yz \rho \cos \theta + z^2 \rho \sin \theta$
19	偏芯アス12(0)	1	3	$(1/2)y \rho^2 \cos 2 \theta + (1/2)z \rho^2 \sin 2 \theta + \dots$
20	偏芯アス12(90)	1	3	$(-1/2)z \rho^2 \cos 2 \theta + (1/2)y \rho^2 \sin 2 \theta + \dots$
21	Toric-アス02(0)	2	2	$\rho^2 \cos 2 \theta$
22	Toric-アス02(45)	2	2	$\rho^2 \sin 2 \theta$
23	Toric-Dist11(0)	2	2	$y \rho \cos \theta - z \rho \sin \theta$
24	Toric-Dist11(45)	2	2	$z \rho \cos \theta + y \rho \sin \theta$
25	Toric-アス22-1(0)	2	4	$(y^2+z^2) \rho^2 \cos 2 \theta$
26	Toric-アス22-1(45)	2	4	$(y^2+z^2) \rho^2 \sin 2 \theta$
27	Toric-Dist31-1(0)	2	4	$(y^2+z^2)y \rho \cos \theta - (y^2+z^2)z \rho \sin \theta$
28	Toric-Dist31-1(45)	2	4	$(y^2+z^2)z \rho \cos \theta + (y^2+z^2)y \rho \sin \theta$
29	Toric-湾曲22(0)	2	4	$(y^2-z^2) \rho^2$
30	Toric-湾曲22(45)	2	4	$2yz \rho^2$
31	Toric-アス04(0)	2	4	$\rho^4 \cos 2 \theta$
32	Toric-アス04(45)	2	4	$\rho^4 \sin 2 \theta$
33	Toric-Coma13(0)	2	4	$y \rho^3 \cos \theta - z \rho^3 \sin \theta$
34	Toric-Coma13(45)	2	4	$z \rho^3 \cos \theta + y \rho^3 \sin \theta$
35	Toric-Dist31-2(0)	2	4	$(y^2-z^2)y \rho \cos \theta + (y^2-z^2)z \rho \sin \theta$
36	Toric-Dist31-2(45)	2	4	$2y^2z \rho \cos \theta + 2yz^2 \rho \sin \theta$
37	Toric-3 θ 13(0)	2	4	$(1/2)(y \rho^3 \cos 3 \theta - z \rho^3 \sin 3 \theta) + \dots$
38	Toric-3 θ 13(45)	2	4	$(1/2)(z \rho^3 \cos 3 \theta + y \rho^3 \sin 3 \theta) + \dots$
39	Toric-アス22-2(0)	2	4	$(1/2)(y^2+z^2) \rho^2 \cos 2 \theta + \dots$
40	Toric-アス22-2(45)	2	4	$(1/2)(y^2+z^2) \rho^2 \sin 2 \theta + \dots$
41	Trefoil-Dist21(0)	3	3	$\rho^3 \cos 3 \theta$
42	Trefoil-Dist21(30)	3	3	$\rho^3 \sin 3 \theta$
43	Trefoil-アス12(0)	3	3	$y \rho^2 \cos 2 \theta - z \rho^2 \sin 2 \theta$
44	Trefoil-アス12(30)	3	3	$z \rho^2 \cos 2 \theta + y \rho^2 \sin 2 \theta$
45	Trefoil-3 θ 12(0)	3	3	$(y^2-z^2) \rho \cos \theta - 2yz \rho \sin \theta$
46	Trefoil-3 θ 12(30)	3	3	$2yz \rho \cos \theta + (y^2-z^2) \rho \sin \theta$

[0048]

Here, a matter fundamental about the Zernike polynomial showing the distribution in the pupil of a wavefront aberration is explained. In expression of the Zernike polynomial, Zernike's cylindrical function is used as a system of orthogonal functions using above-mentioned pupil polar coordinates (ρ , θ) as a coordinate system. That is, using Zernike's cylindrical function $Z_i(\rho, \theta)$, the wavefront aberration $W(\rho, \theta)$ is developed, as shown in the following formula (f).

[0049]

$$W(\rho, \theta) = \sum C_i Z_i(\rho, \theta) \\ = C_1 Z_1(\rho, \theta) + C_2 Z_2(\rho, \theta) + \dots + C_n Z_n(\rho, \theta) \quad (f)$$

[0050]

Here, C_i is a coefficient of each item of the Zernike polynomial. Hereafter, the functions Z_1 – Z_{36} which start the 1st clause – the 36th clause among the function systems $Z_i(\rho, \theta)$ of each item of the Zernike polynomial are shown in the next table (4).

[0051]

A table (4)

$Z_1: 1$
 $Z_2: \rho \cos \theta$
 $Z_3: \rho \sin \theta$
 $Z_4: 2\rho^2 - 1$
 $Z_5: \rho^2 \cos 2\theta$
 $Z_6: \rho^2 \sin 2\theta$
 $Z_7: (3\rho^2 - 2) \rho \cos \theta$
 $Z_8: (3\rho^2 - 2) \rho \sin \theta$
 $Z_9: 6\rho^4 - 6\rho^2 + 1$
 $Z_{10}: \rho^3 \cos 3\theta$
 $Z_{11}: \rho^3 \sin 3\theta$
 $Z_{12}: (4\rho^2 - 3) \rho^2 \cos 2\theta$
 $Z_{13}: (4\rho^2 - 3) \rho^2 \sin 2\theta$
 $Z_{14}: (10\rho^4 - 12\rho^2 + 3) \rho \cos \theta$
 $Z_{15}: (10\rho^4 - 12\rho^2 + 3) \rho \sin \theta$
 $Z_{16}: 20\rho^6 - 30\rho^4 + 12\rho^2 - 1$
 $Z_{17}: \rho^4 \cos 4\theta$
 $Z_{18}: \rho^4 \sin 4\theta$
 $Z_{19}: (5\rho^2 - 4) \rho^3 \cos 3\theta$
 $Z_{20}: (5\rho^2 - 4) \rho^3 \sin 3\theta$
 $Z_{21}: (15\rho^4 - 20\rho^2 + 6) \rho^2 \cos 2\theta$
 $Z_{22}: (15\rho^4 - 20\rho^2 + 6) \rho^2 \sin 2\theta$
 $Z_{23}: (35\rho^6 - 60\rho^4 + 30\rho^2 - 4) \rho \cos \theta$
 $Z_{24}: (35\rho^6 - 60\rho^4 + 30\rho^2 - 4) \rho \sin \theta$
 $Z_{25}: 70\rho^8 - 140\rho^6 + 90\rho^4 - 20\rho^2 + 1$
 $Z_{26}: \rho^5 \cos 5\theta$
 $Z_{27}: \rho^5 \sin 5\theta$
 $Z_{28}: (6\rho^2 - 5) \rho^4 \cos 4\theta$
 $Z_{29}: (6\rho^2 - 5) \rho^4 \sin 4\theta$
 $Z_{30}: (21\rho^4 - 30\rho^2 + 10) \rho^3 \cos 3\theta$
 $Z_{31}: (21\rho^4 - 30\rho^2 + 10) \rho^3 \sin 3\theta$
 $Z_{32}: (56\rho^6 - 104\rho^4 + 60\rho^2 - 10) \rho^2 \cos 2\theta$
 $Z_{33}: (56\rho^6 - 104\rho^4 + 60\rho^2 - 10) \rho^2 \sin 2\theta$
 $Z_{34}: (126\rho^8 - 280\rho^6 + 210\rho^4 - 60\rho^2 + 5) \rho \cos \theta$
 $Z_{35}: (126\rho^8 - 280\rho^6 + 210\rho^4 - 60\rho^2 + 5) \rho \sin \theta$
 $Z_{36}: 252\rho^{10} - 630\rho^8 + 560\rho^6 - 210\rho^4 + 30\rho^2 - 1$

[0052]

Next, the aberration function F_{Mi} of each item shown in the table (3) of the aberration polynomial σ ($M_i - F_{Mi}$), it changes into the form of the linear combination of the Zernike function Z_i of each item shown in the table (4) of the Zernike polynomial, and this is shown in the following tables (5) as the new aberration function F_{Ni} , i.e., the aberration function by which Zernike function table present was carried out, for an aberration polynomial. On the occasion of modification of the aberration function F_{Mi} of each item, substitution introduction of the Zernike function Z_i with same classification of sin and cos in which the degree of ρ and the degree of θ are the same is carried out.

[0053]

As a result of transforming the aberration function F_{Mi} of each item, when the aberration function F_{Ni} of a certain clause includes the aberration function F_{Nj} of other clauses, in order to avoid redundancy (redundancy), the portion corresponding to the aberration function F_{Nj} is omitted from the aberration function F_{Ni} . If F_{M2} and Z_4 are referred to as concrete simplest example, aberration

function FN2 of the 2nd clause will be set to (Z4-Z1) at an initial target, but. Since aberration function FN1=Z1 of other clauses (the 1st clause) is included, the portion Z1 corresponding to aberration function FN2 to aberration function FN1 is omitted, and it is being referred to as aberration function FN2=Z4.

[0054]

As a result of transforming the aberration function F_{Mi} of each item, also when the aberration function F_{Ni} of a certain clause is in agreement with the aberration function F_{Nj} of other clauses, in order to avoid redundancy, adoption of the aberration function F_{Nj} is omitted. Since the aberration functions FN39 and FN40 of the 39th clause and the 40th clause are specifically in agreement with the aberration functions FN25 and FN26 of the 25th clause and the 26th clause, respectively if a table (5) is referred to, In the aberration polynomial sigma (M_i-F_{Ni}), the aberration functions FN39 and FN40 of the 39th clause and the 40th clause will be used.

[0055]

In a table (5), the aberration functions FN2-FN8 correspond to the symmetry-of-revolution aberration component W_r, The aberration functions FN9-FN20 correspond to the eccentric aberration component W_s, the aberration functions FN21-FN40 correspond to the ASU (toric) aberration component W_a, and the aberration functions FN41-FN46 support the Japanese honewort aberration component W_t. In the table (5), the display of the aberration function F_{Ni} after aberration function FN1=Z1 of the 1st clause and the 47th clause is omitted.

[0056]

A table (5)

[Table 5]

i	収差分類	ツェルニケ関数表現
3	倍率	yZ^2+zZ^3
2	Focus	Z^4
5	Dist31	$(y^2+z^2)yZ^2+(y^2+z^2)zZ^3$
4	像面湾曲 22	$(y^2+z^2)Z^4$
8	アス 22	$(y^2-z^2)Z^5+2yzZ^6$
7	コマ収差 13	yZ^7+zZ^8
6	球面収差 04	Z^9
9	像シフト(0)	Z^2
10	像シフト(90)	Z^3
11	偏芯 Dist21-1(0)	$(y^2+z^2)Z^2$
12	偏芯 Dist21-1(90)	$(y^2+z^2)Z^3$
17	偏芯 Dist21-2(0)	$y^2Z^2+yzZ^3$
18	偏芯 Dist21-2(90)	$yzZ^2+z^2Z^3$
13	像面チルト 12(0)	yZ^4
14	像面チルト 12(90)	zZ^4
19	偏芯アス 12(0)	yZ^5+zZ^6
20	偏芯アス 12(90)	$-zZ^5+yZ^6$
15	偏芯コマ 03(0)	Z^7
16	偏芯コマ 03(90)	Z^8
23	Toric-Dist11(0)	yZ^2-zZ^3
24	Toric-Dist11(45)	zZ^2+yZ^3
25	Toric-アス 02(0)	Z^5
26	Toric-アス 02(45)	Z^6
27	Toric-Dist31-1(0)	$(y^2+z^2)yZ^2-(y^2+z^2)zZ^3$
28	Toric-Dist31-1(45)	$(y^2+z^2)zZ^2+(y^2+z^2)yZ^3$
35	Toric-Dist31-2(0)	$(y^2-z^2)yZ^2+(y^2-z^2)zZ^3$
36	Toric-Dist31-2(45)	$2y^2zZ^2+2yz^2Z^3$
29	Toric-湾曲 22(0)	$(y^2-z^2)Z^4$
30	Toric-湾曲 22(45)	$2yzZ^4$
25, 39	Toric-アス 22(0)	$(y^2+z^2)Z^5$
26, 40	Toric-アス 22(45)	$(y^2+z^2)Z^6$
33	Toric-Coma13(0)	yZ^7-zZ^8
34	Toric-Coma13(45)	zZ^7+yZ^8
37	Toric-3 θ 13(0)	$yZ^{10}-zZ^{11}$
38	Toric-3 θ 13(45)	$zZ^{10}+yZ^{11}$
31	Toric-アス 04(0)	Z^{12}
32	Toric-アス 04(45)	Z^{13}
41	Trefoil-Dist21(0)	$(y^2-z^2)Z^2-2yzZ^3$
42	Trefoil-Dist21(30)	$2yzZ^2+(y^2-z^2)Z^3$
43	Trefoil-アス 12(0)	yZ^5-zZ^6
44	Trefoil-アス 12(30)	zZ^5+yZ^6
45	Trefoil-3 θ 12(0)	Z^{10}
46	Trefoil-3 θ 12(30)	Z^{11}

[0057]

According to this embodiment, when fitting [a wavefront aberration / an aberration polynomial] (approximation), in order to suppress a fitting error small, an aberration polynomial is used and set up only for an orthonormal-functions series as a function of image

surface coordinates and pupil coordinates. For this purpose, by this embodiment, it is made to correspond to the Zernike function Z_i expressed with pupil polar coordinates (ρ , θ), and the Zernike function F_i expressed by image surface polar coordinates (h , α) is introduced. Zernike function F_1 in the image surface coordinates concerning the 1st clause – the 36th clause – F_{36} are shown in the next table (6).

[0058]

A table (6)

F_1 : 1

F_2 : $h \cos \alpha$

F_3 : $h \sin \alpha$

F_4 : $2h^2 - 1$

F_5 : $h^2 \cos 2\alpha$

F_6 : $h^2 \sin 2\alpha$

F_7 : $(3h^2 - 2) h \cos \alpha$

F_8 : $(3h^2 - 2) h \sin \alpha$

F_9 : $6h^4 - 6h^2 + 1$

F_{10} : $h^3 \cos 3\alpha$

F_{11} : $h^3 \sin 3\alpha$

F_{12} : $(4h^2 - 3) h^2 \cos 2\alpha$

F_{13} : $(4h^2 - 3) h^2 \sin 2\alpha$

F_{14} : $(10h^4 - 12h^2 + 3) h \cos \alpha$

F_{15} : $(10h^4 - 12h^2 + 3) h \sin \alpha$

F_{16} : $20h^6 - 30h^4 + 12h^2 - 1$

F_{17} : $h^4 \cos 4\alpha$

F_{18} : $h^4 \sin 4\alpha$

F_{19} : $(5h^2 - 4) h^3 \cos 3\alpha$

F_{20} : $(5h^2 - 4) h^3 \sin 3\alpha$

F_{21} : $(15h^4 - 20h^2 + 6) h^2 \cos 2\alpha$

F_{22} : $(15h^4 - 20h^2 + 6) h^2 \sin 2\alpha$

F_{23} : $(35h^6 - 60h^4 + 30h^2 - 4) h \cos \alpha$

F_{24} : $(35h^6 - 60h^4 + 30h^2 - 4) h \sin \alpha$

F_{25} : $70h^8 - 140h^6 + 90h^4 - 20h^2 + 1$

F_{26} : $h^5 \cos 5\alpha$

F_{27} : $h^5 \sin 5\alpha$

F_{28} : $(6h^2 - 5) h^4 \cos 4\alpha$

F_{29} : $(6h^2 - 5) h^4 \sin 4\alpha$

F_{30} : $(21h^4 - 30h^2 + 10) h^3 \cos 3\alpha$

F_{31} : $(21h^4 - 30h^2 + 10) h^3 \sin 3\alpha$

F_{32} : $(56h^6 - 104h^4 + 60h^2 - 10) h^2 \cos 2\alpha$

F_{33} : $(56h^6 - 104h^4 + 60h^2 - 10) h^2 \sin 2\alpha$

F_{34} : $(126h^8 - 280h^6 + 210h^4 - 60h^2 + 5) h \cos \alpha$

F_{35} : $(126h^8 - 280h^6 + 210h^4 - 60h^2 + 5) h \sin \alpha$

F_{36} : $252h^{10} - 630h^8 + 560h^6 - 210h^4 + 30h^2 - 1$

[0059]

When expressing the wavefront aberration of a actual projection optical system as a function of image surface coordinates and pupil coordinates, so that it may mention later, Each aberration component will be computed by approximating the wavefront aberration acquired by measurement (or ray trace calculation) in two or more [in an exposure region] to the Zernike function, and also resembling the aberration polynomial of this embodiment. When fitting [a wavefront aberration / an aberration polynomial], in order to suppress a fitting error small at this time, orthogonalization of the aberration function F_{Ni} shown in the table (5) becomes SUBJECT.

[0060]

According to this embodiment, it is circular, and the image surface orthogonalizes an aberration function, for example by a Gram-Schmidt-orthogonalization method, on condition that the maximum image height is standardized to 1, and it derives the aberration function series by which orthonormalization was carried out eventually. Namely, the Zernike function Z_i in pupil coordinates and the Zernike function F_i in image surface coordinates express the orthonormal-functions series TA_i , TB_i , TC_i , and TD_i . An aberration polynomial as shown in the following formula (g) is set up as a function of image surface coordinates and pupil coordinates only using these orthonormal-functions series TA_i , TB_i , TC_i , and TD_i .

[0061]

$W = \text{sigma} (MA_i x TA_i + MB_i x TB_i + MC_i x TC_i) + MD_i x TD_i$ (g)

[0062]

In the aberration polynomial showing in a formula (g), MA_i and TA_i are the coefficients and the orthogonalized aberration functions of each item about the symmetry-of-revolution aberration component W_r . MB_i and TB_i are the coefficients and the orthogonalized

aberration functions of each item about the eccentric aberration component W_s . MC_i and TC_i are the coefficients and the orthogonalized aberration functions of each item about the ASU (toric) aberration component W_a . MD_i and TD_i are the coefficients and the orthogonalized aberration functions of each item about the Japanese honewort aberration component W_t .

[0063]

The orthogonalization aberration function TA_i of each item about the symmetry-of-revolution aberration component W_r is shown in the next table (7) and (8). The orthogonalization aberration function TB_i of each item about the eccentric aberration component W_s is shown in next table (9) - (12). The orthogonalization aberration function TC_i of each item about the ASU (toric) aberration component W_a is shown in the next table (13). The orthogonalization aberration function TD_i of each item about the Japanese honewort aberration component W_t is shown in the next table (14). in addition -- the orthogonalization aberration function TA_i -- the display of the function after the 51st clause -- with the orthogonalization aberration function TB_i , the display of the function after the 19th clause is omitted with the orthogonalization aberration function TC_i , and the display of the function after the 7th clause is omitted for the display of the function after the 131st clause by the orthogonalization aberration function TD_i , respectively.

[0064]

A table (7)

[Table 7]

TA_i	収差次数	収差分類	収差関数
TA1	2	倍率	$F2 \times Z2 + F3 \times Z3$
TA2	2	Focus	$Z4$
TA3	4	4次Dist31	$F7 \times Z2 + F8 \times Z3$
TA4	4	4次像面湾曲22	$F4 \times Z4$
TA5	4	4次アス22	$F5 \times Z5 + F6 \times Z6$
TA6	4	4次コマ収差13	$F2 \times Z7 + F3 \times Z8$
TA7	4	4次球面収差04	$Z9$
TA8	6	6次Dist51	$F14 \times Z2 + F15 \times Z3$
TA9	6	6次像面湾曲42	$F9 \times Z4$
TA10	6	6次アス42	$F12 \times Z5 + F13 \times Z6$
TA11	6	6次コマ33	$F7 \times Z7 + F8 \times Z8$
TA12	6	6次球面湾曲24	$F4 \times Z9$
TA13	6	6次3 033	$F10 \times Z10 + F11 \times Z11$
TA14	6	6次アス24	$F5 \times Z12 + F6 \times Z13$
TA15	6	6次コマ15	$F2 \times Z14 + F3 \times Z15$
TA16	6	6次球面06	$Z16$
TA17	8	8次dist71	$F23 \times Z2 + F24 \times Z3$
TA18	8	8次像面62	$F16 \times Z4$
TA19	8	8次アス62	$F21 \times Z5 + F22 \times Z6$
TA20	8	8次コマ53	$F14 \times Z7 + F15 \times Z8$
TA21	8	8次球面44	$F9 \times Z9$
TA22	8	8次3 053	$F19 \times Z10 + F20 \times Z11$
TA23	8	8次アス44	$F12 \times Z12 + F13 \times Z13$
TA24	8	8次コマ35	$F7 \times Z14 + F8 \times Z15$
TA25	8	8次球面26	$F4 \times Z16$
TA26	8	8次4 044	$F17 \times Z17 + F18 \times Z18$
TA27	8	8次3 035	$F10 \times Z19 + F11 \times Z20$
TA28	8	8次アス26	$F5 \times Z21 + F6 \times Z22$

[0065]

A table (8)

[Table 8]

TAi	収差次数	収差分類	収差関数
TA29	8	8次コマ17	$F2 \times Z23 + F3 \times Z24$
TA30	8	8次球面08	$Z25$
TA31	10	10次dist91	$F34 \times Z2 + F35 \times Z3$
TA32	10	10次湾曲82	$F25 \times Z4$
TA33	10	10次アス82	$F32 \times Z5 + F33 \times Z6$
TA34	10	10次コマ73	$F23 \times Z7 + F24 \times Z8$
TA35	10	10次球面64	$F16 \times Z9$
TA36	10	10次3 θ 73	$F30 \times Z10 + F31 \times Z11$
TA37	10	10次アス64	$F21 \times Z12 + F22 \times Z13$
TA38	10	10次コマ55	$F14 \times Z14 + F15 \times Z14$
TA39	10	10次球面湾曲46	$F9 \times Z16$
TA40	10	10次4 θ 64	$F28 \times Z17 + F29 \times Z18$
TA41	10	10次3 θ 55	$F19 \times Z19 + F20 \times Z20$
TA42	10	10次アス46	$F12 \times Z21 + F13 \times Z22$
TA43	10	10次コマ37	$F7 \times Z23 + F8 \times Z24$
TA44	10	10次球面湾曲28	$F4 \times Z25$
TA45	10	10次5 θ 55	$F26 \times Z26 + F27 \times Z27$
TA46	10	10次4 θ 46	$F17 \times Z28 + F18 \times Z29$
TA47	10	10次3 θ 37	$F10 \times Z30 + F11 \times Z31$
TA48	10	10次アス28	$F5 \times Z32 + F6 \times Z33$
TA49	10	10次コマ19	$F2 \times Z34 + F3 \times Z35$
TA50	10	10次球面010	$Z36$

[0066]

A table (9)

[Table 9]

TBi	収差次数	収差分類	収差関数
TB1	1	像シフト(y)	Z2
TB2	1	像シフト(z)	Z3
TB3	3	3次偏芯Dist21-1(0)	F4xZ2
TB4	3	3次偏芯Dist21-1(90)	F4xZ3
TB5	3	3次偏芯Dist21-2(0)	F5xZ2+F6xZ3
TB6	3	3次偏芯Dist21-2(90)	F6xZ2-F5xZ3
TB7	3	3次像面チルト12(0)	F2xZ4
TB8	3	3次像面チルト12(90)	F3xZ4
TB9	3	3次偏芯アス12(0)	F2xZ5+F3xZ6
TB10	3	3次偏芯アス12(90)	-F3xZ5+F2xZ6
TB11	3	3次偏芯コマ03(0)	Z7
TB12	3	3次偏芯コマ03(90)	Z8
TB13	5	5次偏芯Dist41-1(0)	F9xZ2
TB14	5	5次偏芯Dist41-1(90)	F9xZ3
TB15	5	5次偏芯Dist41-2(0)	F12xZ2+F13xZ3
TB16	5	5次偏芯Dist41-2(90)	F13xZ2-F12xZ3
TB17	5	5次偏芯像面32(0)	F7xZ4
TB18	5	5次偏芯像面32(90)	F8xZ4
TB19	5	5次偏芯アス32-1(0)	F7xZ5+F8xZ6
TB20	5	5次偏芯アス32-1(90)	-F8xZ5+F7xZ6
TB21	5	5次偏芯アス32-2(0)	F10xZ5+F11xZ6

[0067]

A table (10)

[Table 10]

TBi	収差次数	収差分類	収差関数
TB22	5	5次偏芯アス32-2(90)	F11×Z5-F10×Z6
TB23	5	5次偏芯コマ23-1(0)	F4×Z7
TB24	5	5次偏芯コマ23-1(90)	F4×Z8
TB25	5	5次偏芯コマ23-2(0)	F5×Z7+F6×Z8
TB26	5	5次偏芯コマ23-2(90)	F6×Z7-F5×Z8
TB27	5	5次偏芯球面14(0)	F2×Z9
TB28	5	5次偏芯球面14(90)	F3×Z9
TB29	5	5次偏芯3 θ23(0)	F5×Z10+F6×Z11
TB30	5	5次偏芯3 θ23(90)	-F6×Z10+F5×Z11
TB31	5	5次偏芯アス14(0)	F2×Z12+F3×Z13
TB32	5	5次偏芯アス14(90)	-F3×Z12+F2×Z13
TB33	5	5次偏芯コマ05(0)	Z14
TB34	5	5次偏芯コマ05(90)	Z15
TB35	7	7次偏芯Dist61-1(0)	F16×Z2
TB36	7	7次偏芯Dist61-1(90)	F16×Z3
TB37	7	7次偏芯Dist61-2(0)	F21×Z2+F22×Z3
TB38	7	7次偏芯Dist61-2(90)	F22×Z2-F21×Z3
TB39	7	7次偏芯像面52(0)	F14×Z4
TB40	7	7次偏芯像面52(90)	F15×Z4
TB41	7	7次偏芯アス52-1(0)	F14×Z5+F15×Z6
TB42	7	7次偏芯アス52-1(90)	-F15×Z5+F14×Z6
TB43	7	7次偏芯アス52-2(0)	F19×Z5+F20×Z6
TB44	7	7次偏芯アス52-2(90)	F20×Z5-F19×Z6
TB45	7	7次偏芯コマ43-1(0)	F9×Z7
TB46	7	7次偏芯コマ43-1(90)	F9×Z8
TB47	7	7次偏芯コマ43-2(0)	F12×Z7+F13×Z8
TB48	7	7次偏芯コマ43-2(90)	F13×Z7-F12×Z8
TB49	7	7次偏芯球面34(0)	F7×Z9
TB50	7	7次偏芯球面34(90)	F8×Z9
TB51	7	7次偏芯3 θ43-1(0)	F12×Z10+F13×Z11
TB52	7	7次偏芯3 θ43-1(90)	-F13×Z10+F12×Z11
TB53	7	7次偏芯3 θ43-2(0)	F17×Z10+F18×Z11
TB54	7	7次偏芯3 θ43-2(90)	F18×Z10-F17×Z11
TB55	7	7次偏芯アス34-1(0)	F7×Z12+F8×Z13
TB56	7	7次偏芯アス34-1(90)	-F8×Z12+F7×Z13
TB57	7	7次偏芯アス34-2(0)	F10×Z12+F11×Z13
TB58	7	7次偏芯アス34-2(90)	F11×Z12-F10×Z13
TB59	7	7次偏芯コマ25-1(0)	F4×Z14
TB60	7	7次偏芯コマ25-1(90)	F4×Z15
TB61	7	7次偏芯コマ25-2(0)	F5×Z14+F6×Z15
TB62	7	7次偏芯コマ25-2(90)	F6×Z14-F5×Z15
TB63	7	7次偏芯球面16(0)	F2×Z16
TB64	7	7次偏芯球面16(90)	F3×Z16
TB65	7	7次偏芯4 θ34(0)	F10×Z17+F11×Z18

[0068]

A table (11)

[Table 11]

TBi	収差次数	収差分類	収差関数
TB69	7	7次偏芯アス16(0)	$F2 \times Z21 + F3 \times Z22$
TB70	7	7次偏芯アス16(90)	$-F3 \times Z21 + F2 \times Z22$
TB71	7	7次偏芯コマ07(0)	$Z23$
TB72	7	7次偏芯コマ07(90)	$Z24$
TB73	9	9次偏芯dist81-1(0)	$F25 \times Z2$
TB74	9	9次偏芯dist81-1(90)	$F25 \times Z3$
TB75	9	9次偏芯dist81-2(0)	$F32 \times Z2 + F33 \times Z3$
TB76	9	9次偏芯dist81-2(90)	$F33 \times Z2 - F32 \times Z3$
TB77	9	9次偏芯像面72(0)	$F23 \times Z4$
TB78	9	9次偏芯像面72(90)	$F24 \times Z4$
TB79	9	9次偏芯アス72-1(0)	$F23 \times Z5 + F24 \times Z6$
TB80	9	9次偏芯アス72-1(90)	$-F24 \times Z5 + F23 \times Z6$
TB81	9	9次偏芯アス72-2(0)	$F30 \times Z5 + F31 \times Z6$
TB82	9	9次偏芯アス72-2(90)	$F31 \times Z5 - F30 \times Z6$
TB83	9	9次偏芯コマ63-1(0)	$F16 \times Z7$
TB84	9	9次偏芯コマ63-1(90)	$F16 \times Z8$
TB85	9	9次偏芯コマ63-2(0)	$F21 \times Z7 + F22 \times Z8$
TB86	9	9次偏芯コマ63-2(90)	$F22 \times Z7 - F21 \times Z8$
TB87	9	9次偏芯球面54(0)	$F14 \times Z9$
TB88	9	9次偏芯球面54(90)	$F15 \times Z9$
TB89	9	9次偏芯3 663-1(0)	$F21 \times Z10 + F22 \times Z11$
TB90	9	9次偏芯3 663-1(90)	$-F22 \times Z10 + F21 \times Z11$
TB91	9	9次偏芯3 663-2(0)	$F28 \times Z10 + F29 \times Z11$
TB92	9	9次偏芯3 663-2(90)	$F29 \times Z10 - F28 \times Z11$
TB93	9	9次偏芯アス54-1(0)	$F14 \times Z12 + F15 \times Z13$
TB94	9	9次偏芯アス54-1(90)	$-F15 \times Z12 + F14 \times Z13$
TB95	9	9次偏芯アス54-2(0)	$F19 \times Z12 + F20 \times Z13$
TB96	9	9次偏芯アス54-2(90)	$F20 \times Z12 - F19 \times Z13$
TB97	9	9次偏芯コマ45-1(0)	$F9 \times Z14$
TB98	9	9次偏芯コマ45-1(90)	$F9 \times Z15$
TB99	9	9次偏芯コマ45-2(0)	$F12 \times Z14 + F13 \times Z15$
TB100	9	9次偏芯コマ45-2(90)	$F13 \times Z14 - F12 \times Z15$
TB101	9	9次偏芯球面36(0)	$F7 \times Z16$
TB102	9	9次偏芯球面36(90)	$F8 \times Z16$
TB103	9	9次偏芯4 654-1(0)	$F19 \times Z17 + F20 \times Z18$
TB104	9	9次偏芯4 654-1(90)	$-F20 \times Z17 + F19 \times Z18$
TB105	9	9次偏芯4 654-2(0)	$F26 \times Z17 + F27 \times Z18$
TB106	9	9次偏芯4 654-2(90)	$F27 \times Z17 - F26 \times Z18$
TB107	9	9次偏芯3 645-1(0)	$F12 \times Z19 + F13 \times Z20$
TB108	9	9次偏芯3 645-1(90)	$-F13 \times Z19 + F12 \times Z20$
TB109	9	9次偏芯3 645-2(0)	$F17 \times Z19 + F18 \times Z20$
TB110	9	9次偏芯3 645-2(90)	$F18 \times Z19 - F17 \times Z20$
TB111	9	9次偏芯アス36-1(0)	$F7 \times Z21 + F8 \times Z22$
TB112	9	9次偏芯アス36-1(90)	$-F8 \times Z21 + F7 \times Z22$

[0069]

A table (12)

[Table 12]

TBi	収差次数	収差分類	収差関数
TB116	9	9次偏芯コマ27-1(90)	$F4 \times Z24$
TB117	9	9次偏芯コマ27-2(0)	$F5 \times Z23 + F6 \times Z24$
TB118	9	9次偏芯コマ27-2(90)	$F6 \times Z23 - F5 \times Z24$
TB119	9	9次偏芯球面18(0)	$F2 \times Z25$
TB120	9	9次偏芯球面18(90)	$F3 \times Z25$
TB121	9	9次偏芯5 $\theta 45(0)$	$F17 \times Z26 + F18 \times Z27$
TB122	9	9次偏芯5 $\theta 45(90)$	$-F18 \times Z26 + F17 \times Z27$
TB123	9	9次偏芯4 $\theta 36(0)$	$F10 \times Z28 + Z11 \times F29$
TB124	9	9次偏芯4 $\theta 36(90)$	$-F11 \times Z28 + F10 \times Z29$
TB125	9	9次偏芯3 $\theta 27(0)$	$F5 \times Z30 + F6 \times Z31$
TB126	9	9次偏芯3 $\theta 27(90)$	$-F6 \times Z30 + F5 \times Z31$
TB127	9	9次偏芯アス18(0)	$F2 \times Z32 + F3 \times Z33$
TB128	9	9次偏芯アス18(90)	$-F3 \times Z32 + F2 \times Z33$
TB129	9	9次偏芯コマ09(0)	$Z34$
TB130	9	9次偏芯コマ09(90)	$Z35$

[0070]

A table (13)

[Table 13]

TCi	収差次数	収差分類	収差関数
TC1	2	2次Toric-Dist11(0)	$F2 \times Z2 - F3 \times Z3$
TC2	2	2次Toric-Dist11(45)	$F3 \times Z3 + F2 \times Z3$
TC3	2	2次Toric-アス02(0)	Z5
TC4	2	2次Toric-アス02(45)	Z6
TC5	4	4次Toric-Dist31-1(0)	$F7 \times Z2 - F8 \times Z3$
TC6	4	4次Toric-Dist31-1(45)	$F8 \times Z2 + F7 \times Z3$
TC7	4	4次Toric-Dist31-2(0)	$F10 \times Z2 + F11 \times Z3$
TC8	4	4次Toric-Dist31-2(45)	$F11 \times Z2 - F10 \times Z3$
TC9	4	4次Toric-湾曲22-1(0)	$F5 \times Z4$
TC10	4	4次Toric-湾曲22-1(45)	$F6 \times Z4$
TC11	4	4次Toric-アス22-1(0)	$F4 \times Z5$
TC12	4	4次Toric-アス22-1(45)	$F4 \times Z6$
TC13	4	4次Toric-Coma13(0)	$F2 \times Z7 - F3 \times Z8$
TC14	4	4次Toric-Coma13(45)	$F3 \times Z7 + F2 \times Z8$
TC15	4	4次Toric-3 $\theta 13(0)$	$F2 \times Z10 + F3 \times Z11$
TC16	4	4次Toric-3 $\theta 13(45)$	$F3 \times Z10 + F2 \times Z11$
TC17	4	4次Toric-アス04(0)	Z12
TC18	4	4次Toric-アス04(45)	Z13

[0071]

A table (14)

[Table 14]

TDi	収差次数	収差分類	収差関数
TD1	3	3次Trefoil-Dist21(0)	$F5 \times Z2 - F6 \times Z3$
TD2	3	3次Trefoil-Dist21(30)	$F6 \times Z3 + F5 \times Z3$
TD3	3	3次Trefoil-アス12(0)	$F2 \times Z5 - F3 \times Z6$
TD4	3	3次Trefoil-アス12(30)	$F3 \times Z5 + F2 \times Z6$
TD5	3	3次Trefoil-3 $\theta 12(0)$	Z10
TD6	3	3次Trefoil-3 $\theta 12(30)$	Z11

[0072]

In this way, in this embodiment, the aberration polynomial (g) using only the orthonormal-functions series as an aberration polynomial which expresses the aberration of projection optical system PL as a function of image surface coordinates and pupil coordinates is set up eventually. In this embodiment, as an aberration function of each item in an aberration polynomial (g), The function expressing the symmetry-of-revolution aberration component up to the 9th order (ray aberration), the function expressing the decentration aberration ingredient up to the 8th order (ray aberration), Although the function expressing the ASU (toric) aberration component up to the 3rd order (ray aberration) and the function expressing the Japanese honewort aberration component up to the 2nd order (ray aberration) are computed in illustration, it is also possible to compute the aberration function expressing a still higher order aberration distribution with the same technique.

[0073]

If Z4 in table (7) - (13) is replaced by the defocusing aberration D (the following formula (h) shows) as follows in order to express a focal ingredient more correctly, the fitting accuracy of the focal ingredient in each evaluation items or a spherical aberration component can be raised. This is effective in the case of evaluation of the image formation optical system which has a high numerical

aperture especially.

$$D=(\rho^2-1)^{1/2-1}(h)$$

[0074]

Drawing 3 is a flow chart which shows the process of the valuation method of projection optical system PL in this embodiment, and an adjustment method. Reference of drawing 3 will set up the aberration polynomial (g) which expresses the aberration of projection optical system PL as a function of image surface coordinates and pupil coordinates using an above-mentioned technique in this embodiment only using an orthonormal-functions series (S11). Subsequently, the wavefront aberration is measured about two or more [in the image surface of projection optical system PL] (S12). When measuring the wavefront aberration of projection optical system PL, the Fizeau type interferometer indicated by US,5,898,501,B (it corresponds to JP,H10-38757,A and JP,H10-38758,A), for example can be used.

[0075]

PDI (point deflexion interferometer) indicated by JP,2000-97617,A, JP,H10-284368,A and the phase recovery method by which the US,4,309,602,B load indication was carried out, WO 99/No. 60361, WO 00/No. 55890, and the S/H (Shack-Hartmann) method indicated by Patent Application No. 2000-258085, The technique of a Litel Instruments Inc. company etc. which were indicated by US,5,828,455,B and US,5,978,085,B can also be used.

[0076]

The technique using the halftone phase shift mask indicated by JP,2000-146757,A, JP,H10-170399,A, Jena Review 1991/1, pp8-12 "Wavefront analysis of photolithographic lenses" Wolfgang Freitag et al., Applied Optics Vol. 31, No.13, May 1, and 1992, pp2284-2290. "Aberration analysis in aerial images formed by lithographic lenses", Wolfgang Freitag et al., And the technique using the light flux which passes through the part in a pupil, etc. can also be used as indicated by JP,2002-22609,A. In above-mentioned explanation, although the wavefront aberration of projection optical system PL is measured using an interferometer etc., the wavefront aberration of projection optical system PL is also computable with ray tracing, for example.

[0077]

Subsequently, at this embodiment, the wavefront aberration acquired at the aberration acquisition process (S12) is approximated by the Zernike polynomial as a function of pupil coordinates (S13). The wavefront aberration acquired about two or more [in the image surface] specifically, and Zernike coefficient-C_i of each item is computed about each image point. [the Zernike polynomial] Next, based on Zernike coefficient-C_i of each item in the Zernike polynomial obtained at the approximation process (S13), the coefficient MA_i of each item in the aberration polynomial (g) of this embodiment, MB_i, MC_i, and MD_i are determined (S14).

[0078]

the image surface of Zernike coefficient-C_i which specifically corresponds, for example paying attention to the Zernike function Z_i of a specific clause — internal division — based on cloth (distribution of coefficient-C_i in each image point), The coefficient MA_i of the specific clause in an aberration polynomial (g), MB_i, MC_i, and MD_i are determined, for example using the least square method. the image surface of Zernike coefficient-C_i corresponding paying attention to the Zernike function Z_i of other specific clauses — internal division — based on cloth, the coefficient MA_i of other clauses in an aberration polynomial (g), MB_i, MC_i, and MD_i are determined one by one, for example using the least square method.

[0079]

In this way, the orthogonalization function TA_i specified to table (7) - (14) by this embodiment, TB_i, TC_i, and TD_i, being based on the coefficient MA_i determined by the decision process (S14), MB_i, MC_i, and MD_i — the pupil of the aberration of projection optical system PL — internal division — cloth and the image surface — internal division — the aberration polynomial which expresses cloth simultaneously is obtained eventually. Finally, based on the aberration information (namely, aberration polynomial obtained eventually) on projection optical system PL obtained by the valuation method (S11-S14) of this embodiment, optical adjustment of the projection optical system PL is carried out (S15).

[0080]

this embodiment — the pupil of the aberration of projection optical system PL — internal division — cloth and the image surface — internal division — by using the aberration polynomial (g) which expresses cloth simultaneously, It becomes possible to decompose the aberration component of projection optical system PL analytically, and it becomes possible to compute promptly and correctly a correction solution, i.e., an optical adjustment method, and the amount of optical adjustments as compared with the conventional technique of performing numerical optimization by trial and error using a computer. That is, since it becomes easy to grasp the feature of the aberration situation of projection optical system PL by an aberration polynomial (g), it is expectable to become easy to stand the prospect of optical adjustment.

[0081]

In the various error analyses in a design stage, although the technique using automatic correction is conventionally used abundantly, since the aberration situation of projection optical system PL can be uniquely found by using the aberration polynomial (g) of this embodiment, simple and exact analysis is expectable. By using the aberration polynomial (g) of this embodiment set up only using the orthonormal-functions series TA_i, TB_i, TC_i, and TD_i, when fitting [a wavefront aberration / an aberration polynomial (g)], a fitting error can be suppressed small.

[0082]

In the above-mentioned embodiment, avoiding the complicatedness of calculation, in derivation of an aberration polynomial (g), the degree is restricted so that the aberration of projection optical system PL can fully be expressed, but by the derivation method of the aberration polynomial of this invention, a degree can be raised further if needed. Although the symmetry-of-revolution aberration component W_r, the eccentric aberration component W_s, the ASU (toric) aberration component W_a, and the Japanese honewort aberration component W_t are taken into consideration when deriving an aberration polynomial (g) in the above-mentioned embodiment, Other suitable aberration components can be taken into consideration if needed, without being limited to this.

[0083]

By what (exposure process) the pattern for transfer which illuminated the reticle (mask) (Lighting Sub-Division process), and was formed in the mask in the exposure device of the above-mentioned embodiment using the projection optical system by the lighting system is exposed for to a photosensitive substrate. Micro devices (a semiconductor device, an image sensor, a liquid crystal display

element, a thin film magnetic head, etc.) can be manufactured. Hereafter, by forming a predetermined circuit pattern in the wafer as a photosensitive substrate, etc. using the exposure device of this embodiment explains with reference to the flow chart of drawing 4 per example of the technique at the time of obtaining the semiconductor device as a micro device.

[0084]

First, in Step 301 of drawing 4, a metal membrane is vapor-deposited on the wafer of one lot. In the following step 302, photoresist is applied on the metal membrane on the wafer of the one lot. Then, in Step 303, exposure transfer of the image of the pattern on a mask is carried out to each shot region on the wafer of the one lot one by one via the projection optical system using the exposure device of this embodiment. Then, in the step 305 after development of the photoresist on the wafer of the one lot was performed in Step 304, By etching by using a resist pattern as a mask on the wafer of the one lot, the circuit pattern corresponding to the pattern on a mask is formed in each shot region on each wafer.

[0085]

Then, devices, such as a semiconductor device, are manufactured by performing formation of the circuit pattern of the upper layer, etc. According to the above-mentioned semiconductor device manufacturing method, the semiconductor device which has a very detailed circuit pattern can be obtained with a sufficient throughput. In Step 301 – Step 305, vapor-deposit metal on a wafer, and on the metal membrane, although each process of spreading and exposure, development, and etching is performed, a resist. It cannot be overemphasized that each process, such as spreading and exposure, development, and etching, may be performed for a resist on the oxide film of the silicon after forming the oxide film of silicon on a wafer in advance of these processes.

[0086]

In the exposure device of this embodiment, the liquid crystal display element as a micro device can also be obtained by forming predetermined patterns (a circuit pattern, an electrode pattern, etc.) on a plate (glass substrate). Hereafter, with reference to the flow chart of drawing 5, it explains per example of the technique at this time. In drawing 5, what is called an optical lithography process of carrying out transfer exposure of the pattern of a mask to photosensitive substrates (glass substrate etc. in which the resist was applied) using the exposure device of this embodiment is performed by the pattern formation process 401. Of this optical lithography process, the prescribed pattern containing many electrodes etc. is formed on a photosensitive substrate. Then, by passing through each process, such as a developing process, an etching step, and a resist peeling process, a predetermined pattern is formed on a substrate and the exposed substrate shifts to the following light filter formation process 402.

[0087]

Next, in the light filter formation process 402. The group of three dots corresponding to R (Red), G (Green), and B (Blue) forms the light filter which were arranged by matrix form or was arranged in the group of three filters, R, G, and B, of a stripe in two or more horizontal scanning line directions. [many] And 403 is performed for a cell assembler after the light filter formation process 402. By 403, a liquid crystal panel (liquid crystal cell) is assembled as a cell assembler using the substrate which has the prescribed pattern obtained by the pattern formation process 401, the light filter obtained with the light filter formation process 402, etc. In 403, a liquid crystal is poured in as a cell assembler between the substrate which has the prescribed pattern obtained by the pattern formation process 401, for example, and the light filter obtained with the light filter formation process 402, and he manufactures a liquid crystal panel (liquid crystal cell).

[0088]

Then, you attach each part articles in which the display action of the assembled liquid crystal panel (liquid crystal cell) is made to perform, such as an electric circuit and a back light, as a module assembler, and he makes it complete as a liquid crystal display element in 404. According to the manufacturing method of an above-mentioned liquid crystal display element, the liquid crystal display element which has a very detailed circuit pattern can be obtained with a sufficient throughput.

[0089]

Although this invention is applied in the above-mentioned embodiment to the projection optical system carried in the exposure device, this invention can also be applied to other general image formation optical systems, without being limited to this. Although this invention is applied in the above-mentioned embodiment to the projection optical system carried in the what is called scan exposure type exposure device, this invention can also be applied to the projection optical system carried in the one-shot exposure type exposure device, without being limited to this.

[0090]

Although the F₂ laser light source which supplies 157-nm wavelength light is used in the above-mentioned embodiment, The KrF excimer laser light source which supplies 248-nm wavelength light, for example without being limited to this, Deep ultra-violet light sources, such as a source of ArF excimer laser light which supplies 193-nm wavelength light, The mercury lamp etc. which supply a vacuum ultraviolet light source, and g lines (436 nm) and i lines (365 nm), such as an Ar₂ laser light source which supplies the Kr₂ laser light source and the 126-nm wavelength light which supply 146-nm wavelength light, can also be used.

[Brief Description of the Drawings]

[0091]

[Drawing 1] It is a figure showing roughly the composition of the exposure device provided with the projection optical system which applies the valuation method of the image formation optical system concerning the embodiment of this invention.

[Drawing 2] It is a figure explaining the image surface coordinates and pupil coordinates of projection optical system PL.

[Drawing 3] It is a flow chart which shows the process of the valuation method of projection optical system PL in this embodiment, and an adjustment method.

[Drawing 4] It is a flow chart of the technique at the time of obtaining the semiconductor device as a micro device.

[Drawing 5] It is a flow chart of the technique at the time of obtaining the liquid crystal display element as a micro device.

[Explanations of letters or numerals]

[0092]

LS Light source

IL Illumination-light study system

R Reticle

RS Reticle stage
PL Projection optical system
W Wafer
WS Wafer stage

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[0091]

[Drawing 1]It is a figure showing roughly the composition of the exposure device provided with the projection optical system which applies the valuation method of the image formation optical system concerning the embodiment of this invention.

[Drawing 2]It is a figure explaining the image surface coordinates and pupil coordinates of projection optical system PL

[Drawing 3]It is a flow chart which shows the process of the valuation method of projection optical system PL in this embodiment, and an adjustment method.

[Drawing 4]It is a flow chart of the technique at the time of obtaining the semiconductor device as a micro device.

[Drawing 5]It is a flow chart of the technique at the time of obtaining the liquid crystal display element as a micro device.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

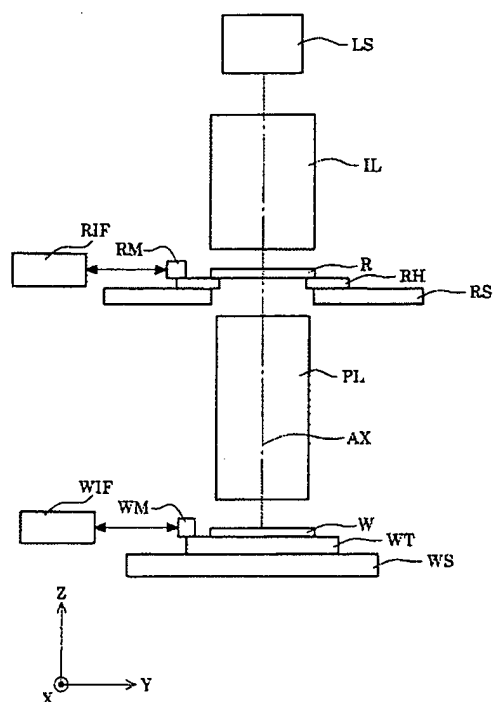
1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.*** shows the word which can not be translated.

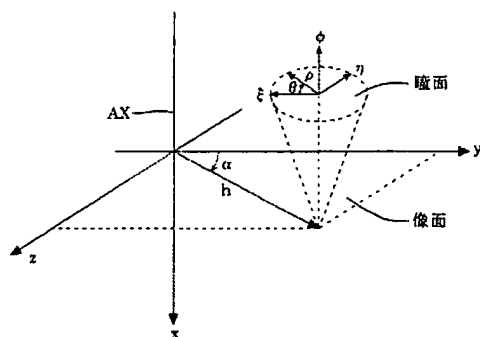
3.In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

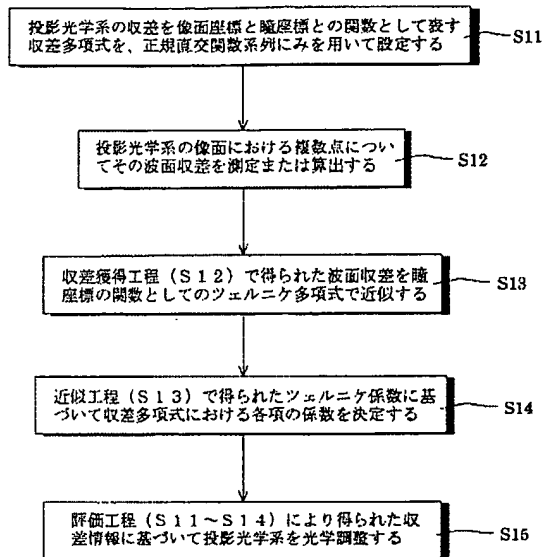
[Drawing 1]



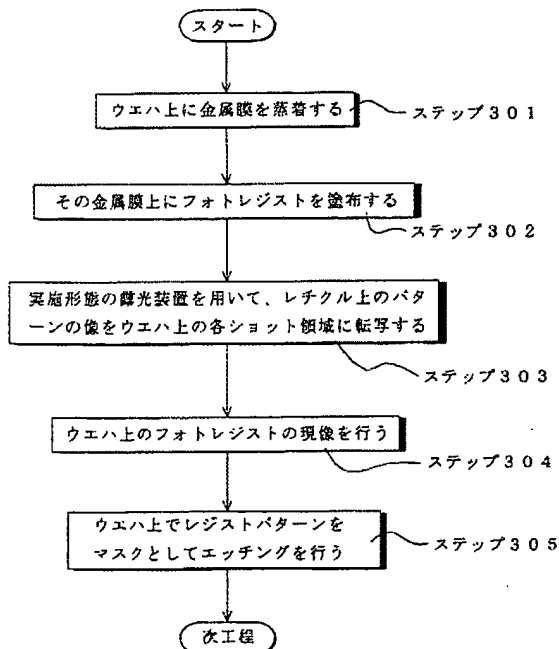
[Drawing 2]



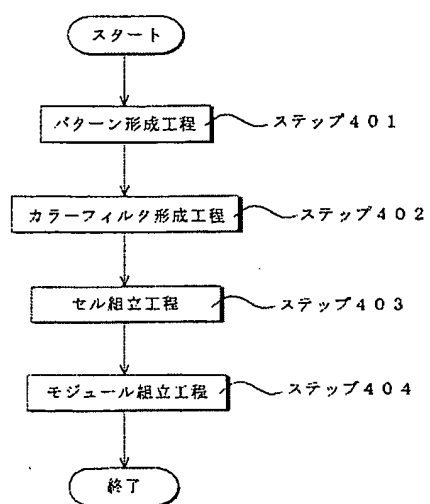
[Drawing 3]



[Drawing 4]



[Drawing 5]



[Translation done.]



Espacenet

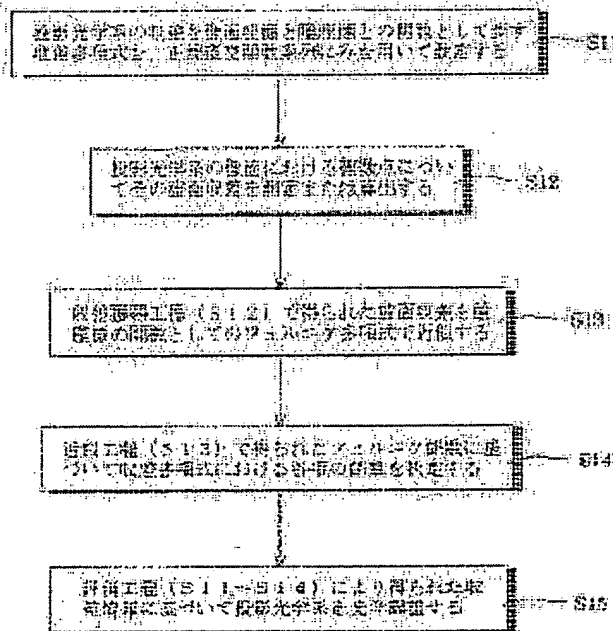
Bibliographic data: JP 2005012190 (A)

ESTIMATION METHOD AND ADJUSTING METHOD OF IMAGING OPTICAL SYSTEM, EXPOSURE APPARATUS AND METHOD

Publication date: 2005-01-13
 Inventor(s): MATSUYAMA TOMOYUKI; UJIE TOMOKO ±
 Applicant(s): NIPPON KOGAKU KK ±
 Classification: - international: G01M11/02; G02B13/14; G02B13/24; H01L21/027; (IPC-7): G01M11/02; G02B13/14; G02B13/24; H01L21/027
 - European:
 Application number: JP20040149698 20040519
 Priority number (s): JP20040149698 20040519; JP20030145652 20030523

Abstract of JP 2005012190 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an estimation method of aberration in an imaging optical system by which the aberration can be estimated analytically by expressing the distribution of the aberration in the pupil and in an image surface at the same time. ; SOLUTION: This estimation method of aberration in an imaging optical system using an aberration polynomial comprises processes of: (S11), setting an aberration polynomial by using only an orthonormal function series, wherein the aberration polynomial expresses aberration in the imaging optical system as functions of an image surface coordinate and a pupil coordinate of the imaging optical system; (S12), obtaining wavefront aberrations at a plurality of points on the imaging surface in the imaging optical system; (S13), approximating wavefront aberration obtained in the aberration obtaining process (S12) by a predetermined polynomial as a function of the pupil coordinate; and (S14), determining coefficients of respective terms in the aberration polynomial based on a coefficient of each term in the predetermined polynomial obtained in the approximating process. ; COPYRIGHT: (C) 2005,JPO&NCIPI



Last updated:
 04.04.2011 Worldwide
 Database 5.7.20; 92p

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-12190

(P2005-12190A)

(43) 公開日 平成17年1月13日(2005.1.13)

(51) Int.Cl.⁷

F1

テーマコード(参考)

H01L 21/027

H01L 21/30

516A

2G086

G01M 11/02

G01M 11/02

B

2H087

G02B 13/14

G02B 13/14

5F046

G02B 13/24

G02B 13/24

審査請求 未請求 請求項の数 16 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2004-149698(P2004-149698)

(22) 出願日 平成16年5月19日(2004.5.19)

(31) 優先権主張番号 特願2003-145652(P2003-145652)

(32) 優先日 平成15年5月23日(2003.5.23)

(33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(74) 代理人 100095256

弁理士 山口 孝雄

(72) 発明者 松山 知行

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 氏家 知子

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

Fターム(参考) 2G086 HH06

2H087 KA21 LA01 NA04 NA09

5F046 BA04 DA13 DB05

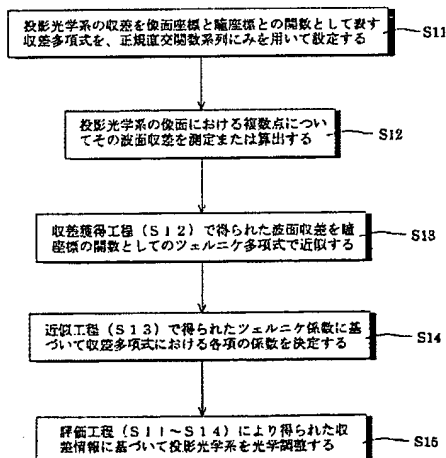
(54) 【発明の名称】 結像光学系の評価方法、結像光学系の調整方法、露光装置および露光方法

(57) 【要約】

【課題】 結像光学系の収差の瞳内分布および像面内分布を同時に表現することにより結像光学系の収差を解析的に評価することのできる評価方法。

【解決手段】 収差多項式を用いて結像光学系の収差を評価する方法。収差多項式を結像光学系の像面座標および瞳座標の関数として正規直交関数系列のみを用いて設定する設定工程(S11)と、結像光学系の像面における複数点について結像光学系の波面収差を得る収差獲得工程(S12)と、収差獲得工程で得られた波面収差を瞳座標の関数としてのツェルニク多項式で近似する近似工程(S13)と、近似工程で得られた所定の多項式における各項の係数に基づいて収差多項式の各項の係数を決定する決定工程(S14)とを含む。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項1】

収差多項式を用いて結像光学系の収差を評価する方法において、

前記収差多項式を前記結像光学系の像面座標および瞳座標の関数として正規直交関数系列のみを用いて設定する設定工程と、

前記結像光学系の像面における複数点について前記結像光学系の波面収差を得る収差獲得工程と、

前記収差獲得工程で得られた前記波面収差を瞳座標の関数としての所定の多項式で近似する近似工程と、

前記近似工程で得られた前記所定の多項式における各項の係数に基づいて前記収差多項式の各項の係数を決定する決定工程とを含むことを特徴とする評価方法。

【請求項2】

前記設定工程は、瞳座標でのツェルニケ関数と像面座標でのツェルニケ関数とにより前記正規直交関数系列を表す工程を含むことを特徴とする請求項1に記載の評価方法。

【請求項3】

前記所定の多項式はツェルニケ多項式を含むことを特徴とする請求項1または2に記載の評価方法。

【請求項4】

前記収差多項式は、前記結像光学系の光軸に関する回転対称収差成分、偏芯収差成分、アス（トーリック）収差成分、および三つ葉収差成分のうちの少なくとも1つの収差成分を含むように設定されることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の評価方法。

【請求項5】

前記収差多項式は、前記偏芯収差成分、前記アス（トーリック）収差成分および三つ葉収差成分のうちの少なくとも1つの収差成分を含むように設定されることを特徴とする請求項4に記載の評価方法。

【請求項6】

前記回転対称収差成分は、前記像面座標および前記瞳座標における回転に対する不変量の冪級数として表現されることを特徴とする請求項4または5に記載の評価方法。

【請求項7】

前記偏芯収差成分は、前記像面座標および前記瞳座標における座標の一次依存成分と、前記回転に対する不変量の冪級数との積として表現されることを特徴とする請求項6に記載の評価方法。

【請求項8】

前記アス（トーリック）収差成分は、前記像面座標および前記瞳座標における座標の二次依存成分で且つ座標の回転に対して180度の周期関数である成分と、前記回転に対する不変量の冪級数との積を含むことを特徴とする請求項6に記載の評価方法。

【請求項9】

前記三つ葉収差成分は、前記像面座標および前記瞳座標における座標の三次依存成分で且つ座標の回転に対して120度の周期関数である成分と、前記回転に対する不変量の冪級数との積を含むことを特徴とする請求項6に記載の評価方法。

【請求項10】

前記決定工程は、前記近似工程で得られた前記所定の多項式における各項の係数の像面内分布を前記像面座標の関数としての所定の多項式で近似する第2の近似工程を含むことを特徴とする請求項1乃至9のいずれか1項に記載の評価方法。

【請求項11】

前記収差獲得工程は、前記結像光学系の波面収差を測定する工程を含むことを特徴とする請求項1乃至10のいずれか1項に記載の評価方法。

【請求項12】

前記収差獲得工程は、前記結像光学系の波面収差を光線追跡により算出する工程を含むことを特徴とする請求項1乃至11のいずれか1項に記載の評価方法。

【請求項13】

結像光学系の像面における複数点について得られた波面収差に基づいて、収差多項式を用いて前記結像光学系の収差を評価する方法において、

前記収差多項式を前記結像光学系の像面座標および瞳座標の関数として正規直交関数系列のみを用いて設定する設定工程と、

前記得られた波面収差を瞳座標の関数としての所定の多項式で近似する近似工程と、

前記近似工程で得られた前記所定の多項式における各項の係数に基づいて前記収差多項式の各項の係数を決定する決定工程とを含むことを特徴とする評価方法。

【請求項14】

請求項1乃至13のいずれか1項に記載の評価方法により得られた前記結像光学系の収差情報に基づいて前記結像光学系を光学調整することを特徴とする調整方法。

【請求項15】

マスクのパターンを感光性基板上に投影露光するための投影光学系として、請求項14に記載の調整方法により光学調整された結像光学系を備えていることを特徴とする露光装置。

【請求項16】

請求項14に記載の調整方法により光学調整された結像光学系を用いて、マスクに形成されたパターンを感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、結像光学系の評価方法、結像光学系の調整方法、露光装置および露光方法に関し、特に露光装置に搭載される投影光学系の収差評価に関するものである。

【背景技術】

【0002】

たとえばLSIの製造において回路パターンを形成するリソグラフィ工程では、マスクのパターンをウェハ上のレジストに転写するための投影光学系が組み込まれた露光装置が用いられている。現在のリソグラフィにおいては、LSIの集積度の増大および k_1 ファクター（線幅 $=k_1 \times \lambda / NA$ ： λ は露光波長、 NA は投影光学系の開口数）の縮小に伴って、投影光学系の収差を極限まで低減することが求められている。

【0003】

そのため、近年、投影光学系の光学調整工程において、各種の波面収差測定器を用いた波面収差の測定および解析が行われている。波面収差の解析工程では、測定された波面収差を、瞳座標の関数としてのツェルニケ（Fringe Zernike）多項式を用いて近似（フィッティング）することが多い。ここで、ツェルニケ多項式は、波面収差の瞳内の分布を表現する関数である。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述のように、ツェルニケ多項式は、瞳内の波面収差を表現するのに適した関数である。しかしながら、この場合、ツェルニケ多項式の各項の係数に基づいて、コンピュータを利用した最適化計算により光学調整方法および光学調整量を試行錯誤的に決定して光学調整を行う必要がある。

【0005】

一方、波面収差の像面内の分布を表現する関数として、回転対称光学系を前提とした収差論により導き出される関数、または3次（光線収差）までの偏芯誤差を含んだ光学系の収差論により導き出される関数が知られている。しかしながら、波面収差の像面内の分布を表現する従来の関数は、開口数およびフィールドの非常に大きい投影光学系の光学調整前および光学調整中の収差状態を表現するには不十分である。

【0006】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、結像光学系の収差の瞳内分布および像面内分布を同時に表現することにより結像光学系の収差を解析的に評価することのできる評価方法を提供することを目的とする。また、本発明の評価方法により得られた収差の解析的な評価に基づいて、結像光学系を良好に光学調整することのできる調整方法を提供することを目的とする。さらに、本発明の調整方法により良好に光学調整された結像光学系を用いて良好な投影露光を行うことのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

前記課題を解決するために、本発明の第1形態では、収差多項式を用いて結像光学系の収差を評価する方法において、

前記収差多項式を前記結像光学系の像面座標および瞳座標の関数として正規直交関数系列のみを用いて設定する設定工程と、

前記結像光学系の像面における複数点について前記結像光学系の波面収差を得る収差獲得工程と、

前記収差獲得工程で得られた前記波面収差を瞳座標の関数としての所定の多項式で近似する近似工程と、

前記近似工程で得られた前記所定の多項式における各項の係数に基づいて前記収差多項式の各項の係数を決定する決定工程とを含むことを特徴とする評価方法を提供する。

【0008】

第1形態の好ましい態様によれば、前記設定工程は、瞳座標でのツェルニケ関数と像面座標でのツェルニケ関数とにより前記正規直交関数系列を表す工程を含む。また、前記所定の多項式はツェルニケ多項式を含むことが好ましい。また、前記収差多項式は、前記結像光学系の光軸に関する回転対称収差成分、偏芯収差成分、アス（トーリック（Toric））収差成分、および三葉収差成分のうちの少なくとも1つの収差成分を含むように設定されることが好ましい。この場合、前記収差多項式は、前記偏芯収差成分、前記アス（トーリック）収差成分および三葉収差成分のうちの少なくとも1つの収差成分を含むように設定されることが好ましい。

【0009】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記回転対称収差成分は、前記像面座標および前記瞳座標における回転に対する不変量の冪級数として表現される。この場合、前記偏芯収差成分は、前記像面座標および前記瞳座標における座標の一次依存成分と、前記回転に対する不変量の冪級数との積として表現されることが好ましい。あるいは、前記アス（トーリック）収差成分は、前記像面座標および前記瞳座標における座標の二次依存成分で且つ座標の回転に対して180度の周期関数である成分と、前記回転に対する不変量の冪級数との積を含むことが好ましい。あるいは、前記三葉収差成分は、前記像面座標および前記瞳座標における座標の三次依存成分で且つ座標の回転に対して120度の周期関数である成分と、前記回転に対する不変量の冪級数との積を含むことが好ましい。

【0010】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記決定工程は、前記近似工程で得られた前記所定の多項式における各項の係数の像面内分布を前記像面座標の関数としての所定の多項式で近似する第2の近似工程を含む。また、前記収差獲得工程は、前記結像光学系の波面収差を測定する工程を含むことが好ましい。また、前記収差獲得工程は、前記結像光学系の波面収差を光線追跡により算出する工程を含むことが好ましい。

【0011】

本発明の第2形態では、結像光学系の像面における複数点について得られた波面収差に基づいて、収差多項式を用いて前記結像光学系の収差を評価する方法において、

前記収差多項式を前記結像光学系の像面座標および瞳座標の関数として正規直交関数系列のみを用いて設定する設定工程と、

前記得られた波面収差を瞳座標の関数としての所定の多項式で近似する近似工程と、

前記近似工程で得られた前記所定の多項式における各項の係数に基づいて前記収差多項式の各項の係数を決定する決定工程とを含むことを特徴とする評価方法を提供する。

【0012】

第2形態の好ましい態様によれば、前記設定工程は、瞳座標でのツェルニケ関数と像面座標でのツェルニケ関数とにより前記正規直交関数系列を表す工程を含む。また、前記収差多項式は、偏芯収差成分、アス（トーリック）収差成分および三つ葉収差成分のうちの少なくとも1つの収差成分を含むように設定されることが好ましい。また、前記決定工程は、前記近似工程で得られた前記所定の多項式における各項の係数の像面内分布を前記像面座標の関数としての所定の多項式で近似する第2の近似工程を含むことが好ましい。

【0013】

本発明の第3形態では、第1形態または第2形態の評価方法により得られた前記結像光学系の収差情報に基づいて前記結像光学系を光学調整することを特徴とする調整方法を提供する。

【0014】

本発明の第4形態では、マスクのパターンを感光性基板上に投影露光するための投影光学系として、第3形態の調整方法により光学調整された結像光学系を備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

【0015】

本発明の第5形態では、第3形態の調整方法により光学調整された結像光学系を用いて、マスクに形成されたパターンの像を感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法を提供する。本発明の第6形態では、第3形態の調整方法により光学調整されたことを特徴とする結像光学系を提供する。

【0016】

本発明の第7形態では、第1形態または第2形態の評価方法を実行するプログラムが記録されていることを特徴とする記録媒体を提供する。本発明の第8形態では、第1形態または第2形態の評価方法を実行するプログラムを含む信号を搭載していることを特徴とするコンピュータで受信可能な搬送波を提供する。

【発明の効果】

【0017】

本発明の評価方法では、結像光学系の収差の瞳内分布および像面内分布を同時に表現することにより、結像光学系の収差を解析的に評価することができる。したがって、本発明の評価方法により得られた収差の解析的な評価に基づいて、結像光学系を良好に光学調整することができる。また、本発明の調整方法により良好に光学調整された結像光学系を用いて、良好な投影露光を行うことができ、ひいては良好なマイクロデバイスを製造することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

図1は、本発明の実施形態にかかる結像光学系の評価方法を適用する投影光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。図1において、投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸を、光軸AXに垂直な面内において図1の紙面に平行にY軸を、光軸AXに垂直な面内において図1の紙面に垂直にX軸をそれぞれ設定している。

【0019】

図1に示す露光装置は、照明光を供給するための光源LSとして、たとえばF₂レーザー光源（波長157nm）を備えている。光源LSから射出された光は、照明光学系ILを介して、所定のパターンが形成されたレチクル（マスク）Rを照明する。なお、光源LSと照明光学系ILとの間の光路はケーシング（不図示）で密封されており、光源LSから照明光学系IL中の最もレチクル側の光学部材までの空間は、露光光の吸収率が低い気体であるヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

【0020】

レチクルRは、レチクルホルダRHを介して、レチクルステージRS上においてXY平面に平行に保持されている。レチクルRには転写すべきパターンが形成されており、たとえばパターン領域全体のうちX方向に沿って長辺を有し且つY方向に沿って短辺を有する矩形形状のパターン領域が照明される。レチクルステージRSは、図示を省略した駆動系の作用により、レチクル面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はレチクル移動鏡RMを用いた干渉計RIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

【0021】

レチクルRに形成されたパターンからの光は、投影光学系PLを介して、感光性基板であるウェハW上にレチクルパターン像を形成する。ウェハWは、ウェハテーブル（ウェハホルダ）WTを介して、ウェハステージWS上においてXY平面に平行に保持されている。そして、レチクルR上での矩形形状の照明領域に光学的に対応するように、ウェハW上ではX方向に沿って長辺を有し且つY方向に沿って短辺を有する矩形形状の露光領域にパターン像が形成される。ウェハステージWSは、図示を省略した駆動系の作用によりウェハ面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はウェハ移動鏡WMを用いた干渉計WIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

【0022】

また、図示の露光装置では、投影光学系PLを構成する光学部材のうち最もレチクル側に配置された光学部材と最もウェハ側に配置された光学部材との間で投影光学系PLの内部が気密状態を保つように構成され、投影光学系PLの内部の気体はヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

【0023】

さらに、照明光学系ILと投影光学系PLとの間の狭い光路には、レチクルRおよびレチクルステージRSなどが配置されているが、レチクルRおよびレチクルステージRSなどを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

【0024】

また、投影光学系PLとウェハWとの間の狭い光路には、ウェハWおよびウェハステージWSなどが配置されているが、ウェハWおよびウェハステージWSなどを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。このように、光源LSからウェハWまでの光路の全体に亘って、露光光がほとんど吸収されることのない雰囲気形成されている。

【0025】

上述したように、投影光学系PLによって規定されるレチクルR上の照明領域およびウェハW上の露光領域（すなわち実効露光領域）は、Y方向に沿って短辺を有する矩形形状である。したがって、駆動系および干渉計（RIF、WIF）などを用いてレチクルRおよびウェハWの位置制御を行いながら、矩形形状の露光領域および照明領域の短辺方向すなわちY方向に沿ってレチクルステージRSとウェハステージWSとを、ひいてはレチクルRとウェハWとを同期的に移動（走査）させることにより、ウェハW上には露光領域の長辺に等しい幅を有し且つウェハWの走査量（移動量）に応じた長さを有する領域に対してレチクルパターンが走査露光される。

【0026】

本実施形態では、結像光学系としての投影光学系PLに対して本発明の評価方法および調整方法を適用するが、この説明に先立って、投影光学系PLの収差を像面座標と瞳座標との関数として一般的に表す収差多項式（収差関数）を新たに導出（設定）する。図2は、投影光学系PLの像面座標および瞳座標を説明する図である。図2において像面直交座標（ y, z ）および瞳直交座標（ ξ, η ）を通る光線に着目すると、この光線の波面収差Wは、 y, z, ξ, η の冪級数に展開されるはずである。

【0027】

そこで、まず、波面収差Wの各成分のうち、投影光学系PLの光軸AXに関する回転対称収差成分Wrについて考える。座標の回転に対する不変量は、次の式(1)～(3)で表される。そして、回転対称収差成分Wrは、式(1)の不変量、式(2)の不変量および式(3)の不変量の冪級数で表現される。換言すれば、回転対称収差成分Wrは、{(1)から(3)の冪級数}で表現される。

【0028】

$$y^2 + z^2 \quad (1)$$

$$\xi^2 + \eta^2 \quad (2)$$

$$y \cdot \xi + z \cdot \eta \quad (3)$$

【0029】

次に、波面収差Wの各成分のうち、投影光学系PLの光軸AXに関する偏芯収差成分Wsについて考える。偏芯で新たに発生する収差成分の座標(像面座標または瞳座標)依存性は一次のみである。したがって、偏芯成分を含んだ収差すなわち偏芯収差成分Wsは、次の式(4)～(7)で表される一次座標依存成分のうちのいずれか1つの成分と、式(1)～(3)で表される回転に対する不変量の冪級数との積として表現される。換言すれば、偏芯収差成分Wsは、{(1)から(3)の冪級数}×{(4)から(7)のいずれか1つ}で表現される。

【0030】

$$y \quad (4)$$

$$z \quad (5)$$

$$\xi \quad (6)$$

$$\eta \quad (7)$$

【0031】

次に、波面収差Wの各成分のうち、アス(トーリック)収差成分Waについて考える。アス(トーリック(Toric))成分で新たに発生する収差成分の座標(像面座標または瞳座標)依存性は2次のみであり、且つ座標の回転に対して180度の周期関数である。このため、アス(トーリック)成分を含んだ収差すなわちアス(トーリック)収差成分Waは、次の式(8)～(13)で表される座標の二次依存成分で且つ座標の回転に対して180度の周期関数である成分と、式(1)～(3)で表される回転に対する不変量の冪級数との積として表現される。換言すれば、アス(トーリック)収差成分Waは、{(1)から(3)の冪級数}×{(8)から(13)のいずれか1つ}で表現される。

【0032】

$$y^2 - z^2 \quad (8)$$

$$2y \cdot z \quad (9)$$

$$\xi^2 - \eta^2 \quad (10)$$

$$2\xi \cdot \eta \quad (11)$$

$$y \cdot \xi - z \cdot \eta \quad (12)$$

$$y \cdot \eta + z \cdot \xi \quad (13)$$

【0033】

最後に、波面収差Wの各成分のうち、三つ葉収差成分Wtについて考える。三つ葉(Trefoil)成分で新たに発生する収差成分の座標(像面座標または瞳座標)依存性は3次のみであり、且つ座標の回転に対して120度の周期関数である。このため、三つ葉成分を含んだ収差すなわち三つ葉収差成分Wtは、次の式(14)～(21)で表される座標の三次依存成分で且つ座標の回転に対して120度の周期関数である成分と、式(1)～(3)で表される回転に対する不変量の冪級数との積として表現される。換言すれば、三つ葉収差成分Wtは、{(1)から(3)の冪級数}×{(14)から(21)のいずれか1つ}で表現される。

【0034】

$$y(y^2 - 3z^2) \quad (14)$$

$$z(3y^2 - z^2) \quad (15)$$

$$\xi (\xi^2 - 3\eta^2) \quad (16)$$

$$\eta (3\xi^2 - \eta^2) \quad (17)$$

$$(y^2 - z^2) \xi - 2yz\eta \quad (18)$$

$$2yz\xi + (y^2 - z^2) \eta \quad (19)$$

$$y (\xi^2 - \eta^2) - 2z\xi\eta \quad (20)$$

$$z (\xi^2 - \eta^2) + 2y\xi\eta \quad (21)$$

【0035】

こうして、回転対称収差成分 W_r と偏芯収差成分 W_s とアス(トーリック)収差成分 W_a と三葉収差成分 W_t とを含んだ波面収差 W を、{(1)から(3)の冪級数}、または{(1)から(3)の冪級数}×{(4)から(21)のいずれか1つ}で表すことができる。一方、図2を参照すると、像面直交座標 (y, z) および瞳直交座標 (ξ, η) と像面極座標 (h, α) および瞳極座標 (ρ, θ) との間には、次の式(a)～(d)に示す関係が成立する。ここで、 h および ρ は規格化半径であり、 α および θ は極座標の動径角である。

【0036】

$$y = h \cos \alpha \quad (a)$$

$$z = h \sin \alpha \quad (b)$$

$$\xi = \rho \cos \theta \quad (c)$$

$$\eta = \rho \sin \theta \quad (d)$$

【0037】

したがって、式(a)～(d)に示す関係に基づいて、上述の式(1)～(21)を次の式(A)～(U)にそれぞれ変形することができる。

【0038】

$$y^2 + z^2 (1) \text{ は、} h^2 \quad (A)$$

$$\xi^2 + \eta^2 (2) \text{ は、} \rho^2 \quad (B)$$

$$y \cdot \xi + z \cdot \eta (3) \text{ は、} \rho h \cos (\theta - \alpha) \quad (C)$$

$$y (4) \text{ は、} h \cos \alpha \quad (D)$$

$$z (5) \text{ は、} h \sin \alpha \quad (E)$$

$$\xi (6) \text{ は、} \rho \cos \theta \quad (F)$$

$$\eta (7) \text{ は、} \rho \sin \theta \quad (G)$$

$$y^2 - z^2 (8) \text{ は、} h^2 \cos 2\alpha \quad (H)$$

$$2y \cdot z (9) \text{ は、} h^2 \sin 2\alpha \quad (I)$$

$$\xi^2 - \eta^2 (10) \text{ は、} \rho^2 \cos 2\theta \quad (J)$$

$$2\xi \cdot \eta (11) \text{ は、} \rho^2 \sin 2\theta \quad (K)$$

$$y \cdot \xi - z \cdot \eta (12) \text{ は、} h \rho \cos (\theta + \alpha) \quad (L)$$

$$y \cdot \eta + z \cdot \xi (13) \text{ は、} h \rho \sin (\theta + \alpha) \quad (M)$$

$$y (y^2 - 3z^2) (14) \text{ は、} h^3 \cos 3\alpha \quad (N)$$

$$z (3y^2 - z^2) (15) \text{ は、} h^3 \sin 3\alpha \quad (O)$$

$$\xi (\xi^2 - 3\eta^2) (16) \text{ は、} \rho^3 \cos 3\theta \quad (P)$$

$$\eta (3\xi^2 - \eta^2) (17) \text{ は、} \rho^3 \sin 3\theta \quad (Q)$$

$$(y^2 - z^2) \xi - 2yz\eta (18) \text{ は、} h^2 \rho \cos (\theta + 2\alpha) \quad (R)$$

$$2yz\xi + (y^2 - z^2) \eta (19) \text{ は、} h^2 \rho \sin (\theta + 2\alpha) \quad (S)$$

$$y (\xi^2 - \eta^2) - 2z\xi\eta (20) \text{ は、} h \rho^2 \cos (2\theta + \alpha) \quad (T)$$

$$z (\xi^2 - \eta^2) + 2y\xi\eta (21) \text{ は、} h \rho^2 \sin (2\theta + \alpha) \quad (U)$$

【0039】

したがって、回転対称収差成分 W_r と偏芯収差成分 W_s とアス(トーリック)収差成分 W_a と三葉収差成分 W_t とを含んだ波面収差 W は、次の収差多項式(e)で表される。

【0040】

$$W = \sum (M_i \times F M_i)$$

ただし、

$$\begin{aligned}
 FM_i = & (A^{j1} \cdot B^{j2} \cdot C^{j3}) \times \{ (D^{k1} \cdot E^{k2} \cdot F^{k3} \cdot G^{k4}) \\
 & \times (H^{k5} \cdot I^{k6} \cdot J^{k7} \cdot K^{k8} \cdot L^{k9} \cdot M^{k10}) \\
 & \times (N^{k11} \cdot O^{k12} \cdot P^{k13} \cdot Q^{k14} \cdot R^{k15} \\
 & \cdot S^{k16} \cdot T^{k17} \cdot U^{k18}) \} \quad (e)
 \end{aligned}$$

【0041】

ここで、 Σ は正の整数 i ($i=1, 2, 3, \dots$)に関する総和記号であって、 M_i および FM_i は収差多項式 $\Sigma (M_i \cdot FM_i)$ における各項の係数および関数である。また、 $j_1 \sim j_3$ は、負でない整数 ($0, 1, 2, \dots$)である。さらに、 $k_1 \sim k_{18}$ は、0または1で、且つ $\Sigma k_i \leq 1$ を満たす。換言すれば、 $k_1 \sim k_{18}$ は、すべてが0であるか、あるいはいずれか1つだけが1であって他は0である。具体的には、 $k_1 \sim k_{18}$ がすべて0である場合、当該項は回転対称収差成分 W_r を表すことになる。一方、 $k_1 \sim k_{18}$ のいずれか1つだけが1である場合、当該項は偏芯収差成分 W_s またはアス(トリック)収差成分 W_a または三葉収差成分 W_t を表すことになる。

【0042】

次の表(1)および(2)に、収差多項式 $\Sigma (M_i \cdot FM_i)$ における各項の収差関数 FM_i に対応する i の値、 ω 依存性、収差次数、および $j_1 \sim j_3$ および $k_1 \sim k_{18}$ の次数の組み合わせ(各表において空欄は0である)を示す。ここで、 $j_1 \sim j_3$ および $k_1 \sim k_{18}$ の次数の組み合わせは、定数項 FM_1 以外の各項の収差関数 FM_i が少なくとも ρ を含むように規定されている。また、 ω 依存性では、 $\omega=0$ の場合には回転依存性がないこと、 $\omega=1$ の場合には 360° 回転依存性(1回回転依存性)があること、 $\omega=2$ の場合には 180° 回転依存性(2回回転依存性)があること、 $\omega=3$ の場合には 120° 回転依存性(3回回転依存性)があることをそれぞれ示している。

【0043】

さらに、 $j_1 \sim j_3$ のいずれか1つが1であれば収差次数は2だけ増え、 $k_1 \sim k_4$ のいずれか1つが1であれば収差次数は1だけ増え、 $k_5 \sim k_{10}$ のいずれか1つが1であれば収差次数は2だけ増え、 $k_{11} \sim k_{18}$ のいずれか1つが1であれば収差次数は3だけ増える。なお、表(1)および(2)では、第47項以降の収差関数 FM_i の表示を省略している。

【0044】

表(1)

【表1】

i	ω 依存 性	収 差 次 数	j ₁	j ₂	j ₃	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆	k ₇	k ₈	k ₉	k ₁₀	k ₁₁	k ₁₂	k ₁₃	k ₁₄	k ₁₅	k ₁₆	k ₁₇	k ₁₈
1	0	0																					
2	0	2		1																			
3	0	2			1																		
4	0	4	1	1																			
5	0	4	1		1																		
6	0	4		2																			
7	0	4		1	1																		
8	0	4			2																		
9	1	1						1															
10	1	1							1														
11	1	3	1					1															
12	1	3	1						1														
13	1	3		1		1																	
14	1	3		1			1																
15	1	3		1				1															
16	1	3		1					1														
17	1	3			1	1																	
18	1	3			1		1																
19	1	3			1			1															
20	1	3			1				1														
21	2	2										1											
22	2	2											1										
23	2	2												1									
24	2	2													1								
25	2	4	1									1											
26	2	4	1										1										
27	2	4	1											1									
28	2	4	1												1								
29	2	4		1						1													
30	2	4		1							1												
31	2	4		1								1											
32	2	4		1									1										
33	2	4		1										1									
34	2	4		1											1								
35	2	4			1					1													
36	2	4			1						1												

表 (2)

【表2】

i	ω 依存性	収差 次数	j_1	j_2	j_3	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}	k_{16}	k_{17}	k_{18}
37	2	4			1							1											
38	2	4			1								1										
39	2	4			1									1									
40	2	4			1										1								
41	3	3																1					
42	3	3																	1				
43	3	3																		1			
44	3	3																			1		
45	3	3																				1	
46	3	3																					1

【0046】

次に、表 (1) および (2) に則り、収差多項式 $\Sigma (M_i \cdot F M_i)$ における各項の収差関数 $F M_i$ を、像面直交座標 (z, y) および瞳極座標 (ρ, θ) で表現して、以下の表 (3) に示す。表 (3) の収差分類において、Focus はフォーカスを、Dist はディストーションを、Toric はトーリックを、Coma はコマを、Trefoil は三つ葉を、アスはアス (トーリック) 収差をそれぞれ示している。また、表 (3) において次数は収差次数を表している。また、表 (3) の収差関数 $F M_i$ において、「+ . . .」は既出の収差関数で表現できる部分を表している。なお、表 (3) では、第 47 項以降の収差関数 $F M_i$ の表示を省略している。

【0047】

表 (3)

【表3】

i	収差分類	ω 依存性	次数	収差関数
1	定数項	0	0	1
2	Focus	0	2	ρ^2
3	倍率	0	2	$y \rho \cos \theta + z \rho \sin \theta$
4	像面湾曲22	0	4	$(y^2+z^2) \rho^2$
5	Dist31	0	4	$(y^2+z^2)y \rho \cos \theta + (y^2+z^2)z \rho \sin \theta$
6	球面収差04	0	4	ρ^4
7	コマ収差13	0	4	$y \rho^3 \cos \theta + z \rho^3 \sin \theta$
8	アス22	0	4	$(1/2)(y^2-z^2) \rho^2 \cos 2\theta + yz \rho^2 \sin 2\theta + \dots$
9	像シフト(0)	1	1	$\rho \cos \theta$
10	像シフト(90)	1	1	$\rho \sin \theta$
11	偏芯Dist21-1(0)	1	3	$(y^2+z^2) \rho \cos \theta$
12	偏芯Dist21-1(90)	1	3	$(y^2+z^2) \rho \sin \theta$
13	像面チルト12(0)	1	3	$y \rho^2$
14	像面チルト12(90)	1	3	$z \rho^2$
15	偏芯コマ03(0)	1	3	$\rho^3 \cos \theta$
16	偏芯コマ03(90)	1	3	$\rho^3 \sin \theta$
17	偏芯Dist21-2(0)	1	3	$y^2 \rho \cos \theta + yz \rho \sin \theta$
18	偏芯Dist21-2(90)	1	3	$yz \rho \cos \theta + z^2 \rho \sin \theta$
19	偏芯アス12(0)	1	3	$(1/2)y \rho^2 \cos 2\theta + (1/2)z \rho^2 \sin 2\theta + \dots$
20	偏芯アス12(90)	1	3	$(-1/2)z \rho^2 \cos 2\theta + (1/2)y \rho^2 \sin 2\theta + \dots$
21	Toric-アス02(0)	2	2	$\rho^2 \cos 2\theta$
22	Toric-アス02(45)	2	2	$\rho^2 \sin 2\theta$
23	Toric-Dist11(0)	2	2	$y \rho \cos \theta - z \rho \sin \theta$
24	Toric-Dist11(45)	2	2	$z \rho \cos \theta + y \rho \sin \theta$
25	Toric-アス22-1(0)	2	4	$(y^2+z^2) \rho^2 \cos 2\theta$
26	Toric-アス22-1(45)	2	4	$(y^2+z^2) \rho^2 \sin 2\theta$
27	Toric-Dist31-1(0)	2	4	$(y^2+z^2)y \rho \cos \theta - (y^2+z^2)z \rho \sin \theta$
28	Toric-Dist31-1(45)	2	4	$(y^2+z^2)z \rho \cos \theta + (y^2+z^2)y \rho \sin \theta$
29	Toric-湾曲22(0)	2	4	$(y^2-z^2) \rho^2$
30	Toric-湾曲22(45)	2	4	$2yz \rho^2$
31	Toric-アス04(0)	2	4	$\rho^4 \cos 2\theta$
32	Toric-アス04(45)	2	4	$\rho^4 \sin 2\theta$
33	Toric-Coma13(0)	2	4	$y \rho^3 \cos \theta - z \rho^3 \sin \theta$
34	Toric-Coma13(45)	2	4	$z \rho^3 \cos \theta + y \rho^3 \sin \theta$
35	Toric-Dist31-2(0)	2	4	$(y^2-z^2)y \rho \cos \theta + (y^2-z^2)z \rho \sin \theta$
36	Toric-Dist31-2(45)	2	4	$2y^2z \rho \cos \theta + 2yz^2 \rho \sin \theta$
37	Toric-3 θ 13(0)	2	4	$(1/2)(y \rho^3 \cos 3\theta - z \rho^3 \sin 3\theta) + \dots$
38	Toric-3 θ 13(45)	2	4	$(1/2)(z \rho^3 \cos 3\theta + y \rho^3 \sin 3\theta) + \dots$
39	Toric-アス22-2(0)	2	4	$(1/2)(y^2+z^2) \rho^2 \cos 2\theta + \dots$
40	Toric-アス22-2(45)	2	4	$(1/2)(y^2+z^2) \rho^2 \sin 2\theta + \dots$
41	Trefoil-Dist21(0)	3	3	$\rho^3 \cos 3\theta$
42	Trefoil-Dist21(30)	3	3	$\rho^3 \sin 3\theta$
43	Trefoil-アス12(0)	3	3	$y \rho^2 \cos 2\theta - z \rho^2 \sin 2\theta$
44	Trefoil-アス12(30)	3	3	$z \rho^2 \cos 2\theta + y \rho^2 \sin 2\theta$
45	Trefoil-3 θ 12(0)	3	3	$(y^2-z^2) \rho \cos \theta - 2yz \rho \sin \theta$
46	Trefoil-3 θ 12(30)	3	3	$2yz \rho \cos \theta + (y^2-z^2) \rho \sin \theta$

【0048】

ここで、波面収差の瞳内の分布を表すツェルニケ多項式について基本的な事項を説明する。ツェルニケ多項式の表現では、座標系として上述の瞳極座標 (ρ, θ) を用い、直交関数系としてツェルニケの円筒関数を用いる。すなわち、波面収差 $W(\rho, \theta)$ は、ツェルニケの円筒関数 $Z_i(\rho, \theta)$ を用いて、次の式 (f) に示すように展開される。

【0049】

$$\begin{aligned}
 W(\rho, \theta) &= \sum C_i \cdot Z_i(\rho, \theta) \\
 &= C_1 \cdot Z_1(\rho, \theta) + C_2 \cdot Z_2(\rho, \theta) \\
 &\quad \dots + C_n \cdot Z_n(\rho, \theta) \quad (f)
 \end{aligned}$$

【0050】

ここで、 C_i は、ツェルニケ多項式の各項の係数である。以下、ツェルニケ多項式の各項の関数系 $Z_i(\rho, \theta)$ のうち、第1項～第36項にかかる関数 $Z_1 \sim Z_{36}$ を、次の表(4)に示す。

【0051】

表(4)

Z_1 :	1
Z_2 :	$\rho \cos \theta$
Z_3 :	$\rho \sin \theta$
Z_4 :	$2\rho^2 - 1$
Z_5 :	$\rho^2 \cos 2\theta$
Z_6 :	$\rho^2 \sin 2\theta$
Z_7 :	$(3\rho^2 - 2)\rho \cos \theta$
Z_8 :	$(3\rho^2 - 2)\rho \sin \theta$
Z_9 :	$6\rho^4 - 6\rho^2 + 1$
Z_{10} :	$\rho^3 \cos 3\theta$
Z_{11} :	$\rho^3 \sin 3\theta$
Z_{12} :	$(4\rho^2 - 3)\rho^2 \cos 2\theta$
Z_{13} :	$(4\rho^2 - 3)\rho^2 \sin 2\theta$
Z_{14} :	$(10\rho^4 - 12\rho^2 + 3)\rho \cos \theta$
Z_{15} :	$(10\rho^4 - 12\rho^2 + 3)\rho \sin \theta$
Z_{16} :	$20\rho^6 - 30\rho^4 + 12\rho^2 - 1$
Z_{17} :	$\rho^4 \cos 4\theta$
Z_{18} :	$\rho^4 \sin 4\theta$
Z_{19} :	$(5\rho^2 - 4)\rho^3 \cos 3\theta$
Z_{20} :	$(5\rho^2 - 4)\rho^3 \sin 3\theta$
Z_{21} :	$(15\rho^4 - 20\rho^2 + 6)\rho^2 \cos 2\theta$
Z_{22} :	$(15\rho^4 - 20\rho^2 + 6)\rho^2 \sin 2\theta$
Z_{23} :	$(35\rho^6 - 60\rho^4 + 30\rho^2 - 4)\rho \cos \theta$
Z_{24} :	$(35\rho^6 - 60\rho^4 + 30\rho^2 - 4)\rho \sin \theta$
Z_{25} :	$70\rho^8 - 140\rho^6 + 90\rho^4 - 20\rho^2 + 1$
Z_{26} :	$\rho^5 \cos 5\theta$
Z_{27} :	$\rho^5 \sin 5\theta$
Z_{28} :	$(6\rho^2 - 5)\rho^4 \cos 4\theta$
Z_{29} :	$(6\rho^2 - 5)\rho^4 \sin 4\theta$
Z_{30} :	$(21\rho^4 - 30\rho^2 + 10)\rho^3 \cos 3\theta$
Z_{31} :	$(21\rho^4 - 30\rho^2 + 10)\rho^3 \sin 3\theta$
Z_{32} :	$(56\rho^6 - 104\rho^4 + 60\rho^2 - 10)\rho^2 \cos 2\theta$
Z_{33} :	$(56\rho^6 - 104\rho^4 + 60\rho^2 - 10)\rho^2 \sin 2\theta$
Z_{34} :	$(126\rho^8 - 280\rho^6 + 210\rho^4 - 60\rho^2 + 5)\rho \cos \theta$
Z_{35} :	$(126\rho^8 - 280\rho^6 + 210\rho^4 - 60\rho^2 + 5)\rho \sin \theta$
Z_{36} :	$252\rho^{10} - 630\rho^8 + 560\rho^6 - 210\rho^4 + 30\rho^2 - 1$

【0052】

次に、収差多項式 $\sum (M_i \cdot F M_i)$ の表(3)に示す各項の収差関数 $F M_i$ を、ツェルニケ多項式の表(4)に示す各項のツェルニケ関数 Z_i の線形結合の形態に変形し、これを収差多項式のための新たな収差関数、すなわちツェルニケ関数表現された収差関数 F

N_i として以下の表(5)に示す。なお、各項の収差関数 F_{Mi} の変形に際しては、 ρ の次数および θ の次数が同じで且つ \sin および \cos の種別が同じツェルニケ関数 Z_i を置換導入している。

【0053】

また、各項の収差関数 F_{Mi} を変形した結果、ある項の収差関数 F_{Ni} が他の項の収差関数 F_{Nj} を含む場合には、冗長性(redundancy)を避けるために、収差関数 F_{Ni} から収差関数 F_{Nj} に対応する部分を省略している。具体的には、最も単純な例として F_{M2} と Z_4 とを参照すると、第2項の収差関数 F_{N2} は初期的に $(Z_4 - Z_1)$ となるが、他の項(第1項)の収差関数 $F_{N1} = Z_1$ を含んでいるので、収差関数 F_{N2} から収差関数 F_{N1} に対応する部分 Z_1 を省略して、収差関数 $F_{N2} = Z_4$ としている。

【0054】

さらに、各項の収差関数 F_{Mi} を変形した結果、ある項の収差関数 F_{Ni} が他の項の収差関数 F_{Nj} と一致する場合にも、冗長性を避けるために収差関数 F_{Nj} の採用を省略している。具体的には、表(5)を参照すると、第39項および第40項の収差関数 F_{N39} および F_{N40} が第25項および第26項の収差関数 F_{N25} および F_{N26} とそれぞれ一致しているので、収差多項式 $\Sigma(M_i \cdot F_{Ni})$ において第39項および第40項の収差関数 F_{N39} および F_{N40} は用いられないことになる。

【0055】

また、表(5)において、収差関数 $F_{N2} \sim F_{N8}$ は回転対称収差成分 W_r に対応し、収差関数 $F_{N9} \sim F_{N20}$ は偏芯収差成分 W_s に対応し、収差関数 $F_{N21} \sim F_{N40}$ はアス(トーリック)収差成分 W_a に対応し、収差関数 $F_{N41} \sim F_{N46}$ は三つ葉収差成分 W_t に対応している。なお、表(5)では、第1項の収差関数 $F_{N1} = Z_1$ および第47項以降の収差関数 F_{Ni} の表示を省略している。

【0056】

表(5)

【表5】

i	収差分類	ツェルニケ関数表現
3	倍率	$yZ2+zZ3$
2	Focus	$Z4$
5	Dist31	$(y^2+z^2)yZ2+(y^2+z^2)zZ3$
4	像面湾曲 22	$(y^2+z^2)Z4$
8	アス 22	$(y^2-z^2)Z5+2yzZ6$
7	コマ収差 13	$yZ7+zZ8$
6	球面収差 04	$Z9$
9	像シフト(0)	$Z2$
10	像シフト(90)	$Z3$
11	偏芯 Dist21-1(0)	$(y^2+z^2)Z2$
12	偏芯 Dist21-1(90)	$(y^2+z^2)Z3$
17	偏芯 Dist21-2(0)	$y^2Z2+yzZ3$
18	偏芯 Dist21-2(90)	$yzZ2+z^2Z3$
13	像面チルト 12(0)	$yZ4$
14	像面チルト 12(90)	$zZ4$
19	偏芯アス 12(0)	$yZ5+zZ6$
20	偏芯アス 12(90)	$-zZ5+yZ6$
15	偏芯コマ 03(0)	$Z7$
16	偏芯コマ 03(90)	$Z8$
23	Toric-Dist11(0)	$yZ2-zZ3$
24	Toric-Dist11(45)	$zZ2+yZ3$
25	Toric-アス 02(0)	$Z5$
26	Toric-アス 02(45)	$Z6$
27	Toric-Dist31-1(0)	$(y^2+z^2)yZ2-(y^2+z^2)zZ3$
28	Toric-Dist31-1(45)	$(y^2+z^2)zZ2+(y^2+z^2)yZ3$
35	Toric-Dist31-2(0)	$(y^2-z^2)yZ2+(y^2-z^2)zZ3$
36	Toric-Dist31-2(45)	$2y^2zZ2+2yz^2Z3$
29	Toric-湾曲 22(0)	$(y^2-z^2)Z4$
30	Toric-湾曲 22(45)	$2yzZ4$
25, 39	Toric-アス 22(0)	$(y^2+z^2)Z5$
26, 40	Toric-アス 22(45)	$(y^2+z^2)Z6$
33	Toric-Coma13(0)	$yZ7-zZ8$
34	Toric-Coma13(45)	$zZ7+yZ8$
37	Toric-3 θ 13(0)	$yZ10-zZ11$
38	Toric-3 θ 13(45)	$zZ10+yZ11$
31	Toric-アス 04(0)	$Z12$
32	Toric-アス 04(45)	$Z13$
41	Trefoil-Dist21(0)	$(y^2-z^2)Z2-2yzZ3$
42	Trefoil-Dist21(30)	$2yzZ2+(y^2-z^2)Z3$
43	Trefoil-アス 12(0)	$yZ5-zZ3$
44	Trefoil-アス 12(30)	$zZ5+yZ6$
45	Trefoil-3 θ 12(0)	$Z10$
46	Trefoil-3 θ 12(30)	$Z11$

【0057】

本実施形態では、波面収差を収差多項式でフィッティング（近似）する際にフィッティング誤差を小さく抑えるために、収差多項式を像面座標および瞳座標の関数として正規直交関数系列のみを用いて設定する。この目的のため、本実施形態では、瞳極座標（ ρ , θ ）で表わされたツェルニケ関数 Z_i に対応させて、像面極座標（ h , α ）で表わされたツェルニケ関数 F_i を導入する。第1項～第36項にかかる像面座標でのツェルニケ関数 $F_1 \sim F_{36}$ を、次の表（6）に示す。

【0058】

表(6)

F1:	1
F2:	$h \cos \alpha$
F3:	$h \sin \alpha$
F4:	$2h^2 - 1$
F5:	$h^2 \cos 2\alpha$
F6:	$h^2 \sin 2\alpha$
F7:	$(3h^2 - 2) h \cos \alpha$
F8:	$(3h^2 - 2) h \sin \alpha$
F9:	$6h^4 - 6h^2 + 1$
F10:	$h^3 \cos 3\alpha$
F11:	$h^3 \sin 3\alpha$
F12:	$(4h^2 - 3) h^2 \cos 2\alpha$
F13:	$(4h^2 - 3) h^2 \sin 2\alpha$
F14:	$(10h^4 - 12h^2 + 3) h \cos \alpha$
F15:	$(10h^4 - 12h^2 + 3) h \sin \alpha$
F16:	$20h^6 - 30h^4 + 12h^2 - 1$
F17:	$h^4 \cos 4\alpha$
F18:	$h^4 \sin 4\alpha$
F19:	$(5h^2 - 4) h^3 \cos 3\alpha$
F20:	$(5h^2 - 4) h^3 \sin 3\alpha$
F21:	$(15h^4 - 20h^2 + 6) h^2 \cos 2\alpha$
F22:	$(15h^4 - 20h^2 + 6) h^2 \sin 2\alpha$
F23:	$(35h^6 - 60h^4 + 30h^2 - 4) h \cos \alpha$
F24:	$(35h^6 - 60h^4 + 30h^2 - 4) h \sin \alpha$
F25:	$70h^8 - 140h^6 + 90h^4 - 20h^2 + 1$
F26:	$h^5 \cos 5\alpha$
F27:	$h^5 \sin 5\alpha$
F28:	$(6h^2 - 5) h^4 \cos 4\alpha$
F29:	$(6h^2 - 5) h^4 \sin 4\alpha$
F30:	$(21h^4 - 30h^2 + 10) h^3 \cos 3\alpha$
F31:	$(21h^4 - 30h^2 + 10) h^3 \sin 3\alpha$
F32:	$(56h^6 - 104h^4 + 60h^2 - 10) h^2 \cos 2\alpha$
F33:	$(56h^6 - 104h^4 + 60h^2 - 10) h^2 \sin 2\alpha$
F34:	$(126h^8 - 280h^6 + 210h^4 - 60h^2 + 5) h \cos \alpha$
F35:	$(126h^8 - 280h^6 + 210h^4 - 60h^2 + 5) h \sin \alpha$
F36:	$252h^{10} - 630h^8 + 560h^6 - 210h^4 + 30h^2 - 1$

【0059】

実際の投影光学系の波面収差を像面座標および瞳座標の関数として表現する場合、後述するように、露光領域内の複数点において測定（あるいは光線追跡計算）により得られた波面収差をツェルニケ関数に近似し、更に本実施形態の収差多項式に近似して各収差成分を算出することになる。このとき、波面収差を収差多項式でフィッティングする際にフィッティング誤差を小さく抑えるには、表(5)に示された収差関数F_{Ni}の直交化が課題になる。

【0060】

本実施形態では、像面が円形であり且つ最大像高を1に規格化することを条件として、たとえばグラム・シュミット直交化法により収差関数の直交化を行い、最終的に正規直交化された収差関数系列を導出する。すなわち、瞳座標でのツェルニケ関数Z_iと像面座標でのツェルニケ関数F_iとにより正規直交関数系列T_{Ai}、T_{Bi}、T_{Ci}、およびT_D

i を表し、これらの正規直交関数系列 TA_i 、 TB_i 、 TC_i 、および TD_i のみを用いて、次の式(ｇ)に示すような収差多項式を像面座標および瞳座標の関数として設定する。

【0061】

$$W = \sum (MA_i \times TA_i + MB_i \times TB_i + MC_i \times TC_i + MD_i \times TD_i) \quad (g)$$

【0062】

式(ｇ)に示す収差多項式において、 MA_i および TA_i は、回転対称収差成分 W_r に関する各項の係数および直交化された収差関数である。 MB_i および TB_i は、偏芯収差成分 W_s に関する各項の係数および直交化された収差関数である。 MC_i および TC_i は、アス(トーリック)収差成分 W_a に関する各項の係数および直交化された収差関数である。 MD_i および TD_i は、三つ葉収差成分 W_t に関する各項の係数および直交化された収差関数である。

【0063】

次の表(7)および(8)に、回転対称収差成分 W_r に関する各項の直交化収差関数 TA_i を示す。次の表(9)～(12)に、偏芯収差成分 W_s に関する各項の直交化収差関数 TB_i を示す。次の表(13)に、アス(トーリック)収差成分 W_a に関する各項の直交化収差関数 TC_i を示す。次の表(14)に、三つ葉収差成分 W_t に関する各項の直交化収差関数 TD_i を示す。なお、直交化収差関数 TA_i では第51項以降の関数の表示を、直交化収差関数 TB_i では第131項以降の関数の表示を、直交化収差関数 TC_i では第19項以降の関数の表示を、直交化収差関数 TD_i では第7項以降の関数の表示をそれぞれ省略している。

【0064】

表(7)

【表7】

TAi	収差次数	収差分類	収差関数
TA1	2	倍率	$F2 \times Z2 + F3 \times Z3$
TA2	2	Focus	$Z4$
TA3	4	4次Dist31	$F7 \times Z2 + F8 \times Z3$
TA4	4	4次像面湾曲22	$F4 \times Z4$
TA5	4	4次アス22	$F5 \times Z5 + F6 \times Z6$
TA6	4	4次コマ収差13	$F2 \times Z7 + F3 \times Z8$
TA7	4	4次球面収差04	$Z9$
TA8	6	6次Dist51	$F14 \times Z2 + F15 \times Z3$
TA9	6	6次像面湾曲42	$F9 \times Z4$
TA10	6	6次アス42	$F12 \times Z5 + F13 \times Z6$
TA11	6	6次コマ33	$F7 \times Z7 + F8 \times Z8$
TA12	6	6次球面湾曲24	$F4 \times Z9$
TA13	6	6次3 633	$F10 \times Z10 + F11 \times Z11$
TA14	6	6次アス24	$F5 \times Z12 + F6 \times Z13$
TA15	6	6次コマ15	$F2 \times Z14 + F3 \times Z15$
TA16	6	6次球面06	$Z16$
TA17	8	8次dist71	$F23 \times Z2 + F24 \times Z3$
TA18	8	8次像面62	$F16 \times Z4$
TA19	8	8次アス62	$F21 \times Z5 + F22 \times Z6$
TA20	8	8次コマ53	$F14 \times Z7 + F15 \times Z8$
TA21	8	8次球面44	$F9 \times Z9$
TA22	8	8次3 653	$F19 \times Z10 + F20 \times Z11$
TA23	8	8次アス44	$F12 \times Z12 + F13 \times Z13$
TA24	8	8次コマ35	$F7 \times Z14 + F8 \times Z15$
TA25	8	8次球面26	$F4 \times Z16$
TA26	8	8次4 644	$F17 \times Z17 + F18 \times Z18$
TA27	8	8次3 635	$F10 \times Z19 + F11 \times Z20$
TA28	8	8次アス26	$F5 \times Z21 + F6 \times Z22$

【0065】

表(8)

【表8】

TAi	収差次数	収差分類	収差関数
TA29	8	8次コマ17	$F2 \times Z23 + F3 \times Z24$
TA30	8	8次球面08	$Z25$
TA31	10	10次dist91	$F34 \times Z2 + F35 \times Z3$
TA32	10	10次湾曲82	$F25 \times Z4$
TA33	10	10次アス82	$F32 \times Z5 + F33 \times Z6$
TA34	10	10次コマ73	$F23 \times Z7 + F24 \times Z8$
TA35	10	10次球面64	$F16 \times Z9$
TA36	10	10次3 673	$F30 \times Z10 + F31 \times Z11$
TA37	10	10次アス64	$F21 \times Z12 + F22 \times Z13$
TA38	10	10次コマ55	$F14 \times Z14 + F15 \times Z14$
TA39	10	10次球面湾曲46	$F9 \times Z16$
TA40	10	10次4 664	$F28 \times Z17 + F29 \times Z18$
TA41	10	10次3 655	$F19 \times Z19 + F20 \times Z20$
TA42	10	10次アス46	$F12 \times Z21 + F13 \times Z22$
TA43	10	10次コマ37	$F7 \times Z23 + F8 \times Z24$
TA44	10	10次球面湾曲28	$F4 \times Z25$
TA45	10	10次5 655	$F26 \times Z26 + F27 \times Z27$
TA46	10	10次4 646	$F17 \times Z28 + F18 \times Z29$
TA47	10	10次3 637	$F10 \times Z30 + F11 \times Z31$
TA48	10	10次アス28	$F5 \times Z32 + F6 \times Z33$
TA49	10	10次コマ19	$F2 \times Z34 + F3 \times Z35$
TA50	10	10次球面010	$Z36$

【0066】

表 (9)

【表9】

TBi	収差次数	収差分類	収差関数
TB1	1	像シフト(y)	Z2
TB2	1	像シフト(z)	Z3
TB3	3	3次偏芯Dist21-1(0)	F4×Z2
TB4	3	3次偏芯Dist21-1(90)	F4×Z3
TB5	3	3次偏芯Dist21-2(0)	F5×Z2+F6×Z3
TB6	3	3次偏芯Dist21-2(90)	F6×Z2-F5×Z3
TB7	3	3次像面チルト12(0)	F2×Z4
TB8	3	3次像面チルト12(90)	F3×Z4
TB9	3	3次偏芯アス12(0)	F2×Z5+F3×Z6
TB10	3	3次偏芯アス12(90)	-F3×Z5+F2×Z6
TB11	3	3次偏芯コマ03(0)	Z7
TB12	3	3次偏芯コマ03(90)	Z8
TB13	5	5次偏芯Dist41-1(0)	F9×Z2
TB14	5	5次偏芯Dist41-1(90)	F9×Z3
TB15	5	5次偏芯Dist41-2(0)	F12×Z2+F13×Z3
TB16	5	5次偏芯Dist41-2(90)	F13×Z2-F12×Z3
TB17	5	5次偏芯像面32(0)	F7×Z4
TB18	5	5次偏芯像面32(90)	F8×Z4
TB19	5	5次偏芯アス32-1(0)	F7×Z5+F8×Z6
TB20	5	5次偏芯アス32-1(90)	-F8×Z5+F7×Z6
TB21	5	5次偏芯アス32-2(0)	F10×Z5+F11×Z6

【0067】

表(10)

【表10】

TBi	収差次数	収差分類	収差関数
TB22	5	5次偏芯アス32-2(90)	F11×Z5-F10×Z6
TB23	5	5次偏芯コマ23-1(0)	F4×Z7
TB24	5	5次偏芯コマ23-1(90)	F4×Z8
TB25	5	5次偏芯コマ23-2(0)	F5×Z7+F6×Z8
TB26	5	5次偏芯コマ23-2(90)	F6×Z7-F5×Z8
TB27	5	5次偏芯球面14(0)	F2×Z9
TB28	5	5次偏芯球面14(90)	F3×Z9
TB29	5	5次偏芯3 θ23(0)	F5×Z10+F6×Z11
TB30	5	5次偏芯3 θ23(90)	-F6×Z10+F5×Z11
TB31	5	5次偏芯アス14(0)	F2×Z12+F3×Z13
TB32	5	5次偏芯アス14(90)	-F3×Z12+F2×Z13
TB33	5	5次偏芯コマ05(0)	Z14
TB34	5	5次偏芯コマ05(90)	Z15
TB35	7	7次偏芯Dist61-1(0)	F16×Z2
TB36	7	7次偏芯Dist61-1(90)	F16×Z3
TB37	7	7次偏芯Dist61-2(0)	F21×Z2+F22×Z3
TB38	7	7次偏芯Dist61-2(90)	F22×Z2-F21×Z3
TB39	7	7次偏芯像面52(0)	F14×Z4
TB40	7	7次偏芯像面52(90)	F15×Z4
TB41	7	7次偏芯アス52-1(0)	F14×Z5+F15×Z6
TB42	7	7次偏芯アス52-1(90)	-F15×Z5+F14×Z6
TB43	7	7次偏芯アス52-2(0)	F19×Z5+F20×Z6
TB44	7	7次偏芯アス52-2(90)	F20×Z5-F19×Z6
TB45	7	7次偏芯コマ43-1(0)	F9×Z7
TB46	7	7次偏芯コマ43-1(90)	F9×Z8
TB47	7	7次偏芯コマ43-2(0)	F12×Z7+F13×Z8
TB48	7	7次偏芯コマ43-2(90)	F13×Z7-F12×Z8
TB49	7	7次偏芯球面34(0)	F7×Z9
TB50	7	7次偏芯球面34(90)	F8×Z9
TB51	7	7次偏芯3 θ43-1(0)	F12×Z10+F13×Z11
TB52	7	7次偏芯3 θ43-1(90)	-F13×Z10+F12×Z11
TB53	7	7次偏芯3 θ43-2(0)	F17×Z10+F18×Z11
TB54	7	7次偏芯3 θ43-2(90)	F18×Z10-F17×Z11
TB55	7	7次偏芯アス34-1(0)	F7×Z12+F8×Z13
TB56	7	7次偏芯アス34-1(90)	-F8×Z12+F7×Z13
TB57	7	7次偏芯アス34-2(0)	F10×Z12+F11×Z13
TB58	7	7次偏芯アス34-2(90)	F11×Z12-F10×Z13
TB59	7	7次偏芯コマ25-1(0)	F4×Z14
TB60	7	7次偏芯コマ25-1(90)	F4×Z15
TB61	7	7次偏芯コマ25-2(0)	F5×Z14+F6×Z15
TB62	7	7次偏芯コマ25-2(90)	F6×Z14-F5×Z15
TB63	7	7次偏芯球面16(0)	F2×Z16
TB64	7	7次偏芯球面16(90)	F3×Z16
TB65	7	7次偏芯4 θ34(0)	F10×Z17+F11×Z18
TB66	7	7次偏芯4 θ34(90)	-F11×Z17+F10×Z18
TB67	7	7次偏芯3 θ25(0)	F5×Z19+F6×Z20
TB68	7	7次偏芯3 θ25(90)	-F6×Z19+F5×Z20

表 (1 1)

【表11】

TBi	収差次数	収差分類	収差関数
TB69	7	7次偏芯アス16(0)	$F2 \times Z21 + F3 \times Z22$
TB70	7	7次偏芯アス16(90)	$-F3 \times Z21 + F2 \times Z22$
TB71	7	7次偏芯コマ07(0)	$Z23$
TB72	7	7次偏芯コマ07(90)	$Z24$
TB73	9	9次偏芯dist81-1(0)	$F25 \times Z2$
TB74	9	9次偏芯dist81-1(90)	$F25 \times Z3$
TB75	9	9次偏芯dist81-2(0)	$F32 \times Z2 + F33 \times Z3$
TB76	9	9次偏芯dist81-2(90)	$F33 \times Z2 - F32 \times Z3$
TB77	9	9次偏芯像面72(0)	$F23 \times Z4$
TB78	9	9次偏芯像面72(90)	$F24 \times Z4$
TB79	9	9次偏芯アス72-1(0)	$F23 \times Z5 + F24 \times Z6$
TB80	9	9次偏芯アス72-1(90)	$-F24 \times Z5 + F23 \times Z6$
TB81	9	9次偏芯アス72-2(0)	$F30 \times Z5 + F31 \times Z6$
TB82	9	9次偏芯アス72-2(90)	$F31 \times Z5 - F30 \times Z6$
TB83	9	9次偏芯コマ63-1(0)	$F16 \times Z7$
TB84	9	9次偏芯コマ63-1(90)	$F16 \times Z8$
TB85	9	9次偏芯コマ63-2(0)	$F21 \times Z7 + F22 \times Z8$
TB86	9	9次偏芯コマ63-2(90)	$F22 \times Z7 - F21 \times Z8$
TB87	9	9次偏芯球面54(0)	$F14 \times Z9$
TB88	9	9次偏芯球面54(90)	$F15 \times Z9$
TB89	9	9次偏芯3 063-1(0)	$F21 \times Z10 + F22 \times Z11$
TB90	9	9次偏芯3 063-1(90)	$-F22 \times Z10 + F21 \times Z11$
TB91	9	9次偏芯3 063-2(0)	$F28 \times Z10 + F29 \times Z11$
TB92	9	9次偏芯3 063-2(90)	$F29 \times Z10 - F28 \times Z11$
TB93	9	9次偏芯アス54-1(0)	$F14 \times Z12 + F15 \times Z13$
TB94	9	9次偏芯アス54-1(90)	$-F15 \times Z12 + F14 \times Z13$
TB95	9	9次偏芯アス54-2(0)	$F19 \times Z12 + F20 \times Z13$
TB96	9	9次偏芯アス54-2(90)	$F20 \times Z12 - F19 \times Z13$
TB97	9	9次偏芯コマ45-1(0)	$F9 \times Z14$
TB98	9	9次偏芯コマ45-1(90)	$F9 \times Z15$
TB99	9	9次偏芯コマ45-2(0)	$F12 \times Z14 + F13 \times Z15$
TB100	9	9次偏芯コマ45-2(90)	$F13 \times Z14 - F12 \times Z15$
TB101	9	9次偏芯球面36(0)	$F7 \times Z16$
TB102	9	9次偏芯球面36(90)	$F8 \times Z16$
TB103	9	9次偏芯4 054-1(0)	$F19 \times Z17 + F20 \times Z18$
TB104	9	9次偏芯4 054-1(90)	$-F20 \times Z17 + F19 \times Z18$
TB105	9	9次偏芯4 054-2(0)	$F26 \times Z17 + F27 \times Z18$
TB106	9	9次偏芯4 054-2(90)	$F27 \times Z17 - F26 \times Z18$
TB107	9	9次偏芯3 045-1(0)	$F12 \times Z19 + F13 \times Z20$
TB108	9	9次偏芯3 045-1(90)	$-F13 \times Z19 + F12 \times Z20$
TB109	9	9次偏芯3 045-2(0)	$F17 \times Z19 + F18 \times Z20$
TB110	9	9次偏芯3 045-2(90)	$F18 \times Z19 - F17 \times Z20$
TB111	9	9次偏芯アス36-1(0)	$F7 \times Z21 + F8 \times Z22$
TB112	9	9次偏芯アス36-1(90)	$-F8 \times Z21 + F7 \times Z22$
TB113	9	9次偏芯アス36-2(0)	$F10 \times Z21 + F11 \times Z22$
TB114	9	9次偏芯アス36-2(90)	$F11 \times Z21 - F10 \times Z22$
TB115	9	9次偏芯コマ27-1(0)	$F4 \times Z23$

【0069】

表(12)

【表12】

TBi	収差次数	収差分類	収差関数
TB116	9	9次偏芯コマ27-1(90)	$F4 \times Z24$
TB117	9	9次偏芯コマ27-2(0)	$F5 \times Z23 + F6 \times Z24$
TB118	9	9次偏芯コマ27-2(90)	$F6 \times Z23 - F5 \times Z24$
TB119	9	9次偏芯球面18(0)	$F2 \times Z25$
TB120	9	9次偏芯球面18(90)	$F3 \times Z25$
TB121	9	9次偏芯5 $\theta 45(0)$	$F17 \times Z26 + F18 \times Z27$
TB122	9	9次偏芯5 $\theta 45(90)$	$-F18 \times Z26 + F17 \times Z27$
TB123	9	9次偏芯4 $\theta 36(0)$	$F10 \times Z28 + Z11 \times F29$
TB124	9	9次偏芯4 $\theta 36(90)$	$-F11 \times Z28 + F10 \times Z29$
TB125	9	9次偏芯3 $\theta 27(0)$	$F5 \times Z30 + F6 \times Z31$
TB126	9	9次偏芯3 $\theta 27(90)$	$-F6 \times Z30 + F5 \times Z31$
TB127	9	9次偏芯アス18(0)	$F2 \times Z32 + F3 \times Z33$
TB128	9	9次偏芯アス18(90)	$-F3 \times Z32 + F2 \times Z33$
TB129	9	9次偏芯コマ09(0)	$Z34$
TB130	9	9次偏芯コマ09(90)	$Z35$

【0070】

表(13)

【表13】

TCi	収差次数	収差分類	収差関数
TC1	2	2次Toric-Dist11(0)	$F2 \times Z2 - F3 \times Z3$
TC2	2	2次Toric-Dist11(45)	$F3 \times Z3 + F2 \times Z3$
TC3	2	2次Toric-アス02(0)	$Z5$
TC4	2	2次Toric-アス02(45)	$Z6$
TC5	4	4次Toric-Dist31-1(0)	$F7 \times Z2 - F8 \times Z3$
TC6	4	4次Toric-Dist31-1(45)	$F8 \times Z2 + F7 \times Z3$
TC7	4	4次Toric-Dist31-2(0)	$F10 \times Z2 + F11 \times Z3$
TC8	4	4次Toric-Dist31-2(45)	$F11 \times Z2 - F10 \times Z3$
TC9	4	4次Toric-湾曲22-1(0)	$F5 \times Z4$
TC10	4	4次Toric-湾曲22-1(45)	$F6 \times Z4$
TC11	4	4次Toric-アス22-1(0)	$F4 \times Z5$
TC12	4	4次Toric-アス22-1(45)	$F4 \times Z6$
TC13	4	4次Toric-Coma13(0)	$F2 \times Z7 - F3 \times Z8$
TC14	4	4次Toric-Coma13(45)	$F3 \times Z7 + F2 \times Z8$
TC15	4	4次Toric-3 $\theta 13(0)$	$F2 \times Z10 + F3 \times Z11$
TC16	4	4次Toric-3 $\theta 13(45)$	$F3 \times Z10 + F2 \times Z11$
TC17	4	4次Toric-アス04(0)	$Z12$
TC18	4	4次Toric-アス04(45)	$Z13$

【0071】

表(14)

【表14】

TDi	収差次数	収差分類	収差関数
TD1	3	3次Trefoil-Dist21(0)	$F5 \times Z2 - F6 \times Z3$
TD2	3	3次Trefoil-Dist21(30)	$F6 \times Z3 + F5 \times Z3$
TD3	3	3次Trefoil-アス12(0)	$F2 \times Z5 - F3 \times Z6$
TD4	3	3次Trefoil-アス12(30)	$F3 \times Z5 + F2 \times Z6$
TD5	3	3次Trefoil-3 θ 12(0)	Z10
TD6	3	3次Trefoil-3 θ 12(30)	Z11

【0072】

こうして、本実施形態では、投影光学系PLの収差を像面座標と瞳座標との関数として表す収差多項式として、正規直交関数系列のみを用いた収差多項式(g)が最終的に設定される。なお、本実施形態では、収差多項式(g)における各項の収差関数として、9次(光線収差)までの回転対称収差成分を表現する関数、8次(光線収差)までの偏心収差成分を表現する関数、3次(光線収差)までのアス(トーリック)収差成分を表現する関数、2次(光線収差)までの三葉収差成分を表現する関数を例示的に算出しているが、同様な手法により、さらに高次の収差分布を表現する収差関数を算出することも可能である。

【0073】

さらに、フォーカス成分をより正確に表現するためには、下記の通り、表(7)～(13)中のZ4をデフォーカス収差D(次の式(h)で示す)で置換すると、各評価点でのフォーカス成分あるいは球面収差成分のフィッティング精度を向上させることができる。これは、特に高い開口数を有する結像光学系の評価の際に有効である。

$$D = (\rho^2 - 1)^{1/2} - 1 \quad (h)$$

【0074】

図3は、本実施形態における投影光学系PLの評価方法および調整方法の工程を示すフローチャートである。図3を参照すると、本実施形態では、上述の手法を用いて、投影光学系PLの収差を像面座標と瞳座標との関数として表す収差多項式(g)を正規直交関数系列のみを用いて設定する(S11)。次いで、投影光学系PLの像面における複数点について、その波面収差を測定する(S12)。なお、投影光学系PLの波面収差の測定に際しては、たとえば米国特許第5,898,501号(特開平10-38757号および特開平10-38758号に対応)に開示されたフィゾー型干渉計を用いることができる。

【0075】

また、特開2000-97617号に開示されたPDI(ポイントデフラクション干渉計)や、特開平10-284368号および米国特許第4,309,602号荷開示された位相回復法や、WO99/60361号、WO00/55890号、および特願2000-258085号に開示されたS/H(シャック・ハルトマン)法や、米国特許第5,828,455号及び米国特許第5,978,085号に開示されたLitell Instruments Inc.社の手法などを用いることもできる。

【0076】

さらに、特開2000-146757号に開示されたハーフトーン位相シフトマスクを用いる手法や、特開平10-170399号、Jena Review 1991/1, pp8-12 "Wavefront analysis of photolithographic lenses" Wolfgang Freitag et al., Applied Optics Vol. 31, No.13, May 1, 1992, pp2284-2290. "Aberration analysis in aerial images formed by lithographic lenses", Wolfgang Freitag et al., および特開2002-22609号に開示されているように、瞳内の一部を通過する光束を用いる手法などを用いることもできる。なお、上述の説明では、干渉計などを用いて投影光学系PLの波面収差を測定しているが、たとえば光線追跡により投影光学系PLの波面収差を算出することも

できる。

【0077】

次いで、本実施形態では、収差獲得工程(S12)で得られた波面収差を、瞳座標の関数としてのツェルニケ多項式で近似する(S13)。具体的には、像面における複数点について得られた波面収差をツェルニケ多項式でフィッティングし、各項のツェルニケ係数 C_i を各像点について算出する。次に、近似工程(S13)で得られたツェルニケ多項式における各項のツェルニケ係数 C_i に基づいて、本実施形態の収差多項式(g)における各項の係数 MA_i 、 MB_i 、 MC_i 、および MD_i を決定する(S14)。

【0078】

具体的には、たとえば特定項のツェルニケ関数 Z_i に着目し、対応するツェルニケ係数 C_i の像面内分布(各像点における係数 C_i の分布)に基づいて、収差多項式(g)における特定項の係数 MA_i 、 MB_i 、 MC_i 、および MD_i を、たとえば最小二乗法を用いて決定する。さらに、他の特定項のツェルニケ関数 Z_i に着目し、対応するツェルニケ係数 C_i の像面内分布に基づいて、収差多項式(g)における他の項の係数 MA_i 、 MB_i 、 MC_i 、および MD_i を、たとえば最小二乗法を用いて順次決定する。

【0079】

こうして、本実施形態では、表(7)～(14)に規定された直交関数 TA_i 、 TB_i 、 TC_i 、および TD_i と、決定工程(S14)で決定された係数 MA_i 、 MB_i 、 MC_i 、および MD_i とに基づいて、投影光学系PLの収差の瞳内分布および像面内分布を同時に表現する収差多項式が最終的に得られる。最後に、本実施形態の評価方法(S11～S14)により得られた投影光学系PLの収差情報(すなわち最終的に得られた収差多項式)に基づいて、投影光学系PLを光学調整する(S15)。

【0080】

本実施形態では、投影光学系PLの収差の瞳内分布および像面内分布を同時に表現する収差多項式(g)を用いることにより、投影光学系PLの収差成分を解析的に分解することが可能になり、コンピュータを使って試行錯誤的に数値最適化を行う従来の手法に比して、修正すなわち光学調整方法および光学調整量を迅速に且つ正確に算出することが可能になる。つまり、収差多項式(g)により投影光学系PLの収差状況の特徴を把握し易くなるので、光学調整の見通しが立て易くなることが期待できる。

【0081】

さらに、設計段階での各種誤差解析において、従来は自動修正を使った手法が多用されているが、本実施形態の収差多項式(g)を用いることにより、投影光学系PLの収差状況が一義的に求まるので、簡便で且つ正確な解析を期待することができる。また、正規直交関数系列 TA_i 、 TB_i 、 TC_i 、および TD_i のみを用いて設定された本実施形態の収差多項式(g)を用いることにより、波面収差を収差多項式(g)でフィッティングする際にフィッティング誤差を小さく抑えることができる。

【0082】

なお、上述の実施形態では、計算の煩雑さを避けつつ投影光学系PLの収差を十分に表現できるように収差多項式(g)の導出において次数を制限しているが、本発明の収差多項式の導出方法では必要に応じて次数をさらに高めることができる。また、上述の実施形態では、収差多項式(g)の導出に際して、回転対称収差成分 W_r と偏芯収差成分 W_s とアス(トーリック)収差成分 W_a と三つ葉収差成分 W_t とを考慮しているが、これに限定されることなく、他の適当な収差成分なども必要に応じて考慮することができる。

【0083】

上述の実施形態の露光装置では、照明装置によってレチクル(マスク)を照明し(照明工程)、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板上に露光する(露光工程)ことにより、マイクロデバイス(半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等)を製造することができる。以下、本実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図4のフローチャートを参照して

説明する。

【0084】

まず、図4のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトリソが塗布される。その後、ステップ303において、本実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトリソの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。

【0085】

その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。なお、ステップ301～ステップ305では、ウェハ上に金属を蒸着し、その金属膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチングの各工程を行っているが、これらの工程に先立って、ウェハ上にシリコンの酸化膜を形成後、そのシリコンの酸化膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチング等の各工程を行っても良いことはいうまでもない。

【0086】

また、本実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図5のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図5において、パターン形成工程401では、本実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

【0087】

次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列されたりしたカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【0088】

その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

【0089】

なお、上述の実施形態では、露光装置に搭載された投影光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、他の一般的な結像光学系に対して本発明を適用することもできる。また、上述の実施形態では、いわゆるスキャン露光型の露光装置に搭載された投影光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、一括露光型の露光装置に搭載された投影光学系に対して本発明を適用することもできる。

【0090】

さらに、上述の実施形態では、157nmの波長光を供給するF₂レーザー光源を用いているが、これに限定されることなく、たとえば248nmの波長光を供給するKrFエキシマレーザー光源や、193nmの波長光を供給するArFエキシマレーザー光源などの深紫外光源、146nmの波長光を供給するKr₂レーザー光源や126nmの波長光を供給するAr₂レーザー光源などの真空紫外光源、またg線(436nm)やi線(365nm)を供給する水銀ランプなどを用いることもできる。

【図面の簡単な説明】

【0091】

【図1】本発明の実施形態にかかる結像光学系の評価方法を適用する投影光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】投影光学系PLの像面座標および瞳座標を説明する図である。

【図3】本実施形態における投影光学系PLの評価方法および調整方法の工程を示すフローチャートである。

【図4】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

【図5】マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

【符号の説明】

【0092】

LS 光源

IL 照明光学系

R レチクル

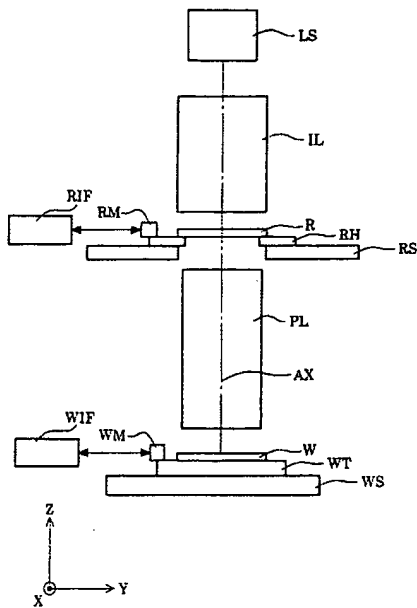
RS レチクルステージ

PL 投影光学系

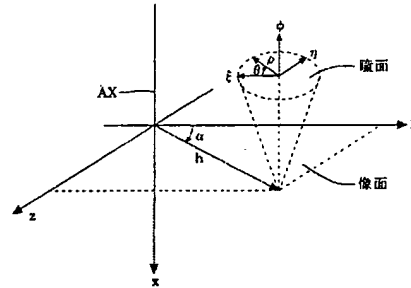
W ウェハ

WS ウェハステージ

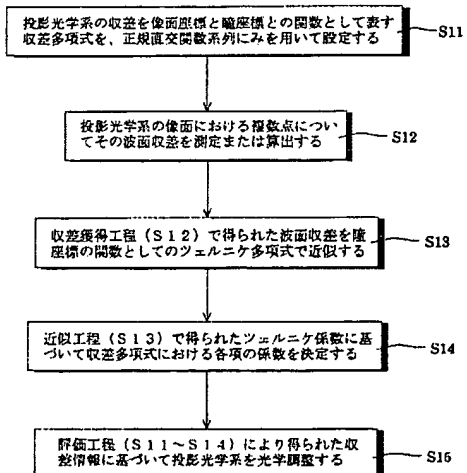
【図1】



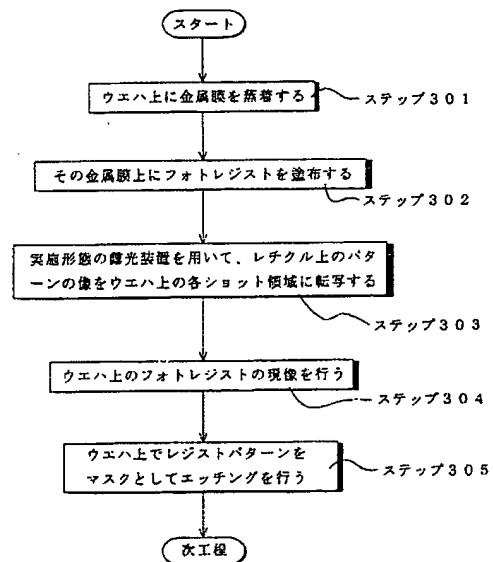
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

